# AIRCRAFT SHEET METAL FORMING

XI

SEMESTER 3

# KATA PENGANTAR

Kurikulum 2013 adalah kurikulum berbasis kompetensi. Didalamnya dirumuskan secara terpadu kompetensi sikap, pengetahuan dan keterampilan yang harus dikuasai peserta didik serta rumusan proses pembelajaran dan penilaian yang diperlukan oleh peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diinginkan.

Faktor pendukung terhadap keberhasilan Implementasi Kurikulum 2013 adalah ketersediaan Buku Siswa dan Buku Guru, sebagai bahan ajar dan sumber belajar yang ditulis dengan mengacu pada Kurikulum 2013. BukuSiswa ini dirancang dengan menggunakan proses pembelajaran yang sesuai untuk mencapai kompetensi yang telah dirumuskan dan diukur dengan proses penilaian yang sesuai.

Sejalan dengan itu, kompetensi keterampilan yang diharapkan dari seorang lulusan SMK adalah kemampuan pikir dan tindak yang efektif dan kreatif dalam ranah abstrak dan konkret. Kompetensi itu dirancang untuk dicapai melalui proses pembelajaran berbasis penemuan (*discovery learning*) melalui kegiatan-kegiatan berbentuk tugas (*project based learning*), dan penyelesaian masalah (*problem solving based learning*) yang mencakup proses mengamati, menanya, mengumpulkan informasi, mengasosiasi, dan mengomunikasikan. Khusus untuk SMK ditambah dengan kemampuan mencipta .

Sebagaimana lazimnya buku teks pembelajaran yang mengacu pada kurikulum berbasis kompetensi, buku ini memuat rencana pembelajaran berbasis aktivitas. Buku ini memuat urutan pembelajaran yang dinyatakan dalam kegiatan-kegiatan yang harus **dilakukan** peserta didik. Buku ini mengarahkan hal-hal yang harus **dilakukan** peserta didik bersama guru dan teman sekelasnya untuk mencapai kompetensi tertentu; bukan buku yang materinya hanya dibaca, diisi, atau dihafal.

Buku ini merupakan penjabaran hal-hal yang harus dilakukan peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diharapkan. Sesuai dengan pendekatan kurikulum 2013, peserta didik diajak berani untuk mencari sumber belajar lain yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Buku ini merupakan edisi ke-1. Oleh sebab itu buku ini perlu terus menerus dilakukan perbaikan dan penyempurnaan.

Kritik, saran, dan masukan untuk perbaikan dan penyempurnaan pada edisi berikutnya sangat kami harapkan; sekaligus, akan terus memperkaya kualitas penyajian buku ajar ini. Atas kontribusi itu, kami ucapkan terima kasih. Tak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada kontributor naskah, editor isi, dan editor bahasa atas kerjasamanya. Mudah-mudahan, kita dapat memberikan yang terbaik bagi kemajuan dunia pendidikan menengah kejuruan dalam rangka mempersiapkan generasi seratus tahun Indonesia Merdeka (2045).

Jakarta, Januari 2014

Direktur Pembinaan SMK

Drs. M. Mustaghfirin Amin, MBA

Diunduh dari BSE.Mahoni.com

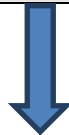
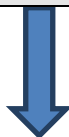
# DAFTAR ISI

Halaman

# PETA KEDUDUKAN MODUL

5. Mengelas las busur dengan proses GTAW (*gas tungsten arch welding)*
6. Mengelas las busur dengan proses GMAW (*Gas Metal Arch Welding*)
7. Membuat bukaan atau bentangan geometri
8. Melaksanakan fabrikasi dasar pembentukan dan pelengkungan
9. Melaksanakan fabrikasi lanjutan pembentukan, pelengkungan dan pencetakan
10. Melakukan rutinitas las oksigen asetelin

11. Mengelas dengan proses las busur metal secara manual

12. Mengelas las busur dengan proses GTAW (gas tungsten arch welding)

13. Mengelas las busur dengan proses GMAW (Gas Metal Arch Welding)

14. Membuat bukaan atau bentangan geometri

## PERISTILAHAN / GLOSSARY

# BAB I

# PENDAHULUAN

## A. DESKRIPSI

Modul Aircraft Sheet Metal Forming ini membahas tentang beberapa hal penting yang perlu diketahui agar dapat melaksanakan proses pembentukan lembaran-lembaran plat allumunium menjadi part-part / komponen-komponen yang dipakai pada pesawat udara khususnya bagian bodi pesawat udara, dengan prosedur yang benar. Cakupan materi yang akan dipelajari dalam modul ini meliputi : (a) pengertian sheet metal forming(b) proses mechanical forming, (c) metode pemukulan / pembentukan, (d) perhitungan untuk menentukan bentangan.

Modul ini terdiri atas empat kegiatan belajar. Kegiatan belajar 1 membahas tentang pengertian tentang sheet metal forming. Kegiatan belajar 2 membahas tentang proses pembentukan part pesawat udara dengan cara mechanical forming. Kegiatan belajar 3 membahas tentang metode pemukulan / pembentukan plat-plat allumunium. Kegiatan belajar 4 membahas tentang perhitungan untuk menentukan bentangan.

Modul ini disiapkan sebagai pemandu pelatihan sekaligus merupakan bahan informasi dalam pembelajaran. Di dalamnya selain informasi mengenai pengetahuan dasar, juga memuat beberapa lembaran tugas dan beberapa lembar tes untuk mengukur apakah proses pendidikan dan pelatihan telah dapat mengubah sikap / perilaku siswa menjadi seseorang yang memilki kompetensi sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Dengan konsep belajar tuntas ( mastery learning ) siswa didik diarahkan untuk memiliki keterampilan tertentu secara tuntas dan tidak diperkenankan untuk melangkah pada pembelajaran berikutnya sebelem pembelajaran tahap pertama tuntas, oleh karenanya lamanya waktu dari proses pembelajaran menjadi faktor bergantung ( variabel dependen ) dimana variabel independennya adalah tercapainya standar kompetensi dengan kata lain yang menjadi prioritas utama adalah pencapaian keterampilan yang memenuhi standar kompetensi, bukan pada lamanya waktu yang diperlukan untuk mengikuti pembelajaran tersebut.

## B. PRASARAT

Sebelum mempelajari modul ini diharapkan para siwa harus sidah mempelajari dan menguasai modul terdahulu yaitu modul basic skills.

## C. PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL

Langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam menggunakan modul, untuk memperoleh hasil belajar secara maksimal antara lain :

### 1. Petunjuk bagiSiswa

a ) Sebelummempelajari modul ini bacalah tujuan kemudian pahami dan hayati tujuan akhir yang harus dicapai pada modul ini.

b ) Bacalah halaman demi halaman dengan seksama sehingga anda benar-benar mengerti.

c ) Janganlah membuka halaman barujika halaman sebelumnya tidak / belum dikuasai.

d ) Materi pelajaran teori pada modul ini dapat dipelajari diluar jam tatap muka baik secara mandiri atau secara kelompok dengan atau tanpa pembimbing. Namun demikian tetap disarankan untuk mendiskusikan dengan teman atau tanyakan langsung kepada guru untuk membahas hal-hal yang belum dimengerti.

e ) Pada saat anda mempelajari sasaran-sasaran kompetensi yang lebih spesifik dari modul in maka kerjakanlah lembar kegiatan siswa sampai terisi benar.

f ) Setelah itu ujilah kemampuan daya nalar, sikap dan keterampilan anda dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan yang ada pada lembar post test.

g ) Serahkan hasil pekerjaan kepada guru untuk diperiksa dan dinilai.

h ) Setelah anda melaksanakan test dengan hasil optimal maka anda dipersilahkan untuk mengkuti latihan praktek ditempat kerja.

i ) Siapkan peralatan dan perlengkapan tempat kerja anda yang sesuai dengan uaraian materi pada modul ini.

j ) Lakukan identifikasi terhadap semua alat-alat yang diperlukan dan pahami cara menggunakan alat-alat tersebut.

### 2. Petunjuk bagi Guru

a ) Membantu siswa dalam merencanakan proses belajar.

b ) Membimbing siswa melalui tugas-tugas yang dijelaskan dalam tahap belajar.

c ) Membantu siswa dalam memahami konsep dan praktek baru dan menjawab pertanyaan siswa mengenai proses belajar.

d ) Membantu siswa untuk menentukan dan mengakses sumber tambahan lain yang diperlukan untuk belajar.

e ) Mengorganisasikan kegiatan belajar kelompok jika diperlukan.

f ) Merencanakan proses penilaian dan menyiapkan perangkatnya.

g ) Melaksanakan penilaian.

h ) Menjelaskan kepada siswa tentang sikap pengetahuan dan keterampilan dari suatu kompetensi, yang perlu untuk dibenahi dan merundingkan rencana pembelajaran berikutnya.

i ) Mencatat pencapaian kemajuan siswa.

## D. TUJUAN AKHIR

Setelah mencapai proses pembelajaran dengan modul ini, para siswa diharapkan :

1. Memahami pengertian sheet metal forming
2. Mampu mengidentifikasi fungsi dan jenis alat-alat manual / hand forming
3. Mampu mengidentifikasi fungsi dan jenis alat-alat mechanical forming
4. Mampu melaksanakan proses pembuatan part pesawat sederhana dengan proses hand forming
5. Mampu menghitung kebutuhan bahan dalam proses pembuatan part pesawat dengan hand forming

## E. KOMPETENSI

**MATA PELAJARAN** : **Kompetensi Kejuruan Konstruksi Badan Pesawat Udara**
**KELAS/ SEMESTER** : **XI/1**
**STANDAR KOMPETENSI** : **Melaksanakan Dasar Fabrikasi, Pembentukan, Pelengkungan, dan Pencetakan**
**KODE KOMPETENSI** : **KBPU 027.09**
**ALOKASI WAKTU** : **114 X 45 Menit**

| KOMPETENSI DASAR | INDIKATOR | MATERI PEMBELAJARAN | KEGIATAN PEMBELAJARAN | | PENILAIAN | ALOKASI WAKTU | | | SUMBER BELAJAR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | KEGIATAN | NILAI | | TM | PS | PI | |
| **1.1 Memilih dan** memasang peralatan pembentuk/ pencetak untuk suatu pengoperasi-an khusus | * Perkakas dan peralatan pembentu-kan dan pencetakan dipilih berdasarkan pekerjaan yang di-Lakukan<br>* Peralatan dipasang dan disesuaikan secara benar untuk pengoperasian sesuai dengan prosedur operasi Standar | * Mengidentifikasi peralatan pembentuk manual, pembentuk mekanik, dan hidrolik<br>* Memasang peralatan pembentukan sesuai jenis pekerjaan<br>* Menghitung kebutuhan bahan yang dibutuhkan sesuai dengan ukuran benda kerja | * Menjelaskan peralatan pembentuk yang dipakai dalam pembentukan secara manual, mekanik, dan hidrolik<br>* Melakukan penyetelan peralatan pembentukan sesuai *instructional* Manual<br>* Menghitung kebutuhan material sesuai dengan beda kerja uang dibuat<br>* Meakukan perhitungan kebutuhan bahan secara grafis dan analis | Disiplin,<br>Kerja keras<br>Demokrasi<br>Tanggung jawab<br>Kreatif | Tes tertulis<br>Tes lisan<br>Observasi | 20 | 20 (40) | 20 (80) | Buku alat-alat perkakas<br>Seperangkat peralatan pembentukan<br>Seperanglat peralatan keselamatan kerja<br>Peralatan ukur<br>Peralatan lukis (tracing) |

| KOMPETENSI DASAR | INDIKATOR | MATERI PEMBELAJARAN | KEGIATAN PEMBELAJARAN | | PENILAIAN | ALOKASI WAKTU | | | SUMBER BELAJAR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | KEGIATAN | NILAI | | TM | PS | PI | |
| | * Cadangan untuk mangantisipasi penyusutan pengukuran dari dalam/luar ketebalan , dibuat dengan Benar | | | | | | | | |
| 1.2 Mengoperasikan peralatan pembentuk/ pencetak | * Mesin secara aman mulai di setting dioperasikan dan dimatikan sesuai dengan prosedur operasi standar<br>* Material dan pelindung keselamat-an ditempatkan secara benar sesuai SOP<br>* Peralatan pebentuk-an diopeasikan dan disesuaikan secara benar berdasarkan jenis pekerjaan | * Mengidentifikasi fungsi-fungsi instrumen pada mesin pembentuk<br>* Mengidentifikasi alat keselamatan kerja sesuai tuntutan Pekerjaan<br>* Mengoperasikan peralatan pembentu-Kan | * Mengenali insrumen yang terdapat pada mesin pembentuk menurut fungsinya<br>* Memilih alat keselamatan kerja sesuai tuntutan pekerjaan<br>* Menyetel dan mengopera-sikan ,mesin<br>- rol<br>- nibing<br>- lipat<br>Sesuai buku manual | Disiplin,<br>Kerja keras<br>Demokrasi<br>Tanggung jawab<br>Kreatif | Tes tertulis<br>Tes lisan<br>Observasi | 24 | 24 (48) | 24 (96) | Buku alat-alat perkakas<br>Seperangkat peralatan pembentukan<br>Seperanglat peralatan keselamatan kerja<br>Peralatan ukur<br>Peralatan lukis (tracing) |

| KOMPETENSI DASAR | INDIKATOR | MATERI PEMBELAJARAN | KEGIATAN PEMBELAJARAN | | PENILAIAN | ALOKASI WAKTU | | | SUMBER BELAJAR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | KEGIATAN | NILAI | | TM | PS | PI | |
| 1.3 Membentuk dan Mencetak Material | * Material ditempatkan pada suatu posisi sejajar, diluruskan, diputar, diltekan atau dibengkokan sesuai spesifikasi/gambar<br>* Prosedur pembentu-kan benda panas atau dingin dilakukan dengan benar berdasarkan standar operasional prosedur<br>* Bentuk akhir diperksa untuk kesesuaiannya dengan spesifikasi pekerjaan yang di minta sesuai prosedur operasi Standar | * Mengerol plat dan Pipa<br>* Menekuk plat dengan berbagai sudut<br>* Membentuk Kecenbungan<br>* Membuat alur<br>* Mengidentifikasi alat control dan memerik-sa hasil pembentukan teknik mengerol | * Melakukan pengerolan pipa dan plat sesuai gambar kerja<br>* Melakukan penekukan pada benda kerja secara mekanik sesuai gambar kerja<br>* Melakukan pembentukan cekung dengan proses pengerutan dan peregang-an sesuai gambar kerja<br>* Membuat alur pada mesin rol sesuai gambar kerja<br>* Membuat alat pengontrol dan pemeriksa(template) sesuai gambar<br>* Memilih alat pengontrol dan pemeriksa sesuai gambar kerja<br>* Melakukan pengontrolan pada hasil akhir pembentukan sesuai gambar kerja | Disiplin,<br>Kerja keras<br>Demokrasi<br>Tanggung jawab<br>Kreatif | Tes tertulis<br>Tes lisan<br>Observasi | 36 | 36 (72) | 36 (144) | Buku alat-alat perkakas<br>Seperangkat peralatan pembentukan<br>Seperanglat peralatan keselamatan kerja<br>Peralatan ukur<br>Peralatan lukis (tracing) |

| KOMPETENSI DASAR | INDIKATOR | MATERI PEMBELAJARAN | KEGIATAN PEMBELAJARAN | | PENILAIAN | ALOKASI WAKTU | | | SUMBER BELAJAR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | KEGIATAN | NILAI | | TM | PS | PI | |
| **1.1 Memilih dan** memasang peralatan pembentuk/ pencetak untuk suatu pengoperasi-an khusus | * Perkakas dan peralatan pembentu-kan dan pencetakan dipilih berdasarkan pekerjaan yang di-Lakukan<br>* Peralatan dipasang dan disesuaikan secara benar untuk pengoperasian sesuai dengan prosedur operasi Standar | * Mengidentifikasi peralatan pembentuk manual, pembentuk mekanik, dan hidrolik<br>* Memasang peralatan pembentukan sesuai jenis pekerjaan<br>* Menghitung kebutuhan bahan yang dibutuhkan sesuai dengan ukuran benda kerja | * Menjelaskan peralatan pembentuk yang dipakai dalam pembentukan secara manual, mekanik, dan hidrolik<br>* Melakukan penyetelan peralatan pembentukan sesuai *instructional* manual<br>* Menghitung kebutuhan material sesuai dengan beda kerja uang dibuat<br>* Meakukan perhitungan kebutuhan bahan secara grafis dan analis | Disiplin,<br>Kerja keras<br>Demokrasi<br>Tanggung jawab<br>Kreatif | Tes tertulis<br>Tes lisan<br>Observasi | 20 | 20 (40) | 20 (80) | Buku alat-alat perkakas<br>Seperangkat peralatan pembentukan<br>Seperanglat peralatan keselamatan kerja<br>Peralatan ukur<br>Peralatan lukis (tracing) |

| KOMPETENSI DASAR | INDIKATOR | MATERI PEMBELAJARAN | KEGIATAN PEMBELAJARAN | | PENILAIAN | ALOKASI WAKTU | | | SUMBER BELAJAR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | KEGIATAN | NILAI | | TM | PS | PI | |
| | * Cadangan untuk mangantisipasi penyusutan pengukuran dari dalam/luar ketebalan , dibuat dengan Benar | | | | | | | | |
| 1.2 Mengoperasikan Peralatan pembentuk/ Pencetak | * Mesin secara aman mulai di setting dioperasikan dan dimatikan sesuai dengan prosedur operasi standar<br>* Material dan pelindung keselamat-an ditempatkan secara benar sesuai standar operasional Prosedur<br>* Peralatan pebentuk-an diopeasikan dan disesuaikan secara benar berdasarkan jenis pekerjaan | * Mengidentifikasi fungsi-fungsi instrumen pada mesin pembentuk<br>* Mengidentifikasi alat keselamatan kerja sesuai tuntutan Pekerjaan<br>* Mengoperasikan peralatan pembentu-Kan | * Mengenali insrumen yang terdapat pada mesin pembentuk menurut fungsinya<br>* Memilih alat keselamatan kerja sesuai tuntutan pekerjaan<br>* Menyetel dan mengopera-sikan ,mesin<br>- rol<br>- nibing<br>- lipat<br>Sesuai buku manual | Disiplin,<br>Kerja keras<br>Demokrasi<br>Tanggung jawab<br>Kreatif | Tes tertulis<br>Tes lisan<br>Observasi | 24 | 24 (48) | 24 (96) | Buku alat-alat perkakas<br>Seperangkat peralatan pembentukan<br>Seperanglat peralatan keselamatan kerja<br>Peralatan ukur<br>Peralatan lukis (tracing) |

| KOMPETENSI DASAR | INDIKATOR | MATERI PEMBELAJARAN | KEGIATAN PEMBELAJARAN | | PENILAIAN | ALOKASI WAKTU | | | SUMBER BELAJAR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | KEGIATAN | NILAI | | TM | PS | PI | |
| 1.3 Membentuk dan Mencetak Material | * Material ditempatkan pada suatu posisi sejajar, diluruskan, diputar, diltekan atau dibengkokan sesuai spesifikasi/gambar<br>* Prosedur pembentukan benda panas atau dingin dilakukan dengan benar berdasarkan standar operasional prosedur<br>* Bentuk akhir diperksa untuk kesesuaiannya dengan spesifikasi pekerjaan yang di minta sesuai prosedur operasi Standar | * Mengerol plat dan Pipa<br>* Menekuk plat dengan berbagai sudut<br>* Membentuk Kecenbungan<br>* Membuat alur<br>* Mengidentifikasi alat control dan memeriksa hasil pembentukan teknik mengerol | * Melakukan pengerolan pipa dan plat sesuai gambar kerja<br>* Melakukan penekukan pada benda kerja secara mekanik sesuai gambar kerja<br>* Melakukan pembentukan cekung dengan proses pengerutan dan peregangan sesuai gambar kerja<br>* Membuat alur pada mesin rol sesuai gambar kerja<br>* Membuat alat pengontrol dan pemeriksa(template) sesuai gambar<br>* Memilih alat pengontrol dan pemeriksa sesuai gambar kerja | Disiplin,<br>Kerja keras<br>Demokrasi<br>Tanggung jawab<br>Kreatif | Tes tertulis<br>Tes lisan<br>Observasi | 36 | 36 (72) | 36 (144) | Buku alat-alat perkakas<br>Seperangkat peralatan pembentukan<br>Seperanglat peralatan keselamatan kerja<br>Peralatan ukur<br>Peralatan lukis (tracing) |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | * Melakukan pengontrolan pada hasil akhir pembentukan sesuai gambar kerja | | | | | | |

## G. CEK KEMAMPUAN AWAL

Sebelum anda mempelajari modul ini, ukurlah terlebih dahulu kemampuan awal yang anda miliki dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut ini :

| NO | PERTANYAAN | YA / TIDAK |
|---|---|---|
| 1 | Apakah anda sudah / telah menguasai pengetahuan tentang sheet metal forming | |
| 2 | Apakah anda memilki kemampuan atau keterampilan untuk menggunakan peralatan dalam sheet metal forming baik hand forming maupun mechanical forming | |
| 3 | Apakah anda sudah memiliki kemampuan dalam menghitung kebutuhan bahan yang diperlukan dalam proses hand forming maupun mechanical forming | |
| 4 | Apakah anda mampu mendemonstrasikan penggunaan peralatan dalam proses sheet metal forming baik hand forming maupun mechanical forming | |
| 5 | Apakah anda mampu membaca gambar teknik yang tercantum dalam jobsheet | |

**CATATAN :**

Jika jawaban anda “ YA” maka anda diperbolehkan menghubungi guru untuk dilakukan verifikasi dan hak atas pengakuan kemampuan dengan bukti fisik berupa fortofolio.

# BAB II

# PEMBELAJARAN

## A. RENCANA BELAJAR SISWA

Dalam setiap proses pembelajaran hendaknya direncanakan tahapan-tahapan pembelajaran agar tujuan yang diharapkan tercapai. Maka setiap siswa terlebih dahulu harus menentukan sasaran dengan menjabarkan sebuah rencana kegiatan belajar dengan membuat tabel seperti di bawah dan isilah tabel tersebut dan mintalah bukti kepada guru jika telah selesai mempelajari setiap kegiatan belajar.

Tabel : Rencana Belajar Siswa

| Jenis Kegiatan | Tanggal | Waktu | Tempat Belajar | Alasan Perubahan | Paraf Guru |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. Sheet metal forming | | | | | |
| 2. Perhitungan untuk menentukan bentangan | | | | | |
| 3. Metode pemukulan atau pembentukan | | | | | |
| 4. Proses pembentukan secara mechanical forming | | | | | |

## B. KEGIATAN BELAJAR

### 1. Kegiatan Belajar 1 : Sheet Metal Forming

#### a. Tujuan Kegiatan Belajar 1

1). Siswa dapat menjelaskan pengertian sheet metal forming dengan benar.
2). Siswa dapat menjelaskan pengertian hand forming dengan benar.
3). Siswa dapat menyebutkan dan menjelaskan alat-alat utama (main tools) yang dipergunakan dalam proses sheetmetal forming dengan benar.
4). Siswa dapat menyebutkan dan menjelaskan alat-alat pendukung (support tools) dalam proses sheet metal forming dengan benar.

## b. Uraian Materi

### 1). Pengertian Sheet Metal Forming

Pada materi pembentukan dan pencetakan ini pembahasannya dikhususkan pada pembentukan part pesawat udara yang terbuat dari logam non fero.

Sheet metal forming merupakan suatu proses dari pembentukan sheet metal atau logam sehingga membentuk suatu komponen ***single part*** dimana beberapa komponen single part ini nantinya akan dirakit dibagian assembling sehingga merupakan suatu kerangka pesawat udara. Pengertian sheet disini adalah suatu lembaran logamyang memiliki ketebalan sampai 3 mm, sedangkan pengertian plate atau pelat adalah suatu logam yang memilki ketebalan 3 mm ke atas.

Sheet metal forming merupakan suatu kompetensi yang harus dikuasai dalam industri pesawat udarakarena lebih dari 70% bagian yang terpasang pada pesawat udara adalah sheet metal parts. Tujuan utama dari proses pembentukan dan pencetakanadalah merubah bentuk lembaran ( sheet ) menjadi produk single part atau komponendengan bentuk yang diinginkan sesuai dengan gambar kerja. Perubahan bentuk dan perubahan sifat akan terjadi akibat proses pembentukan tergantung dari jenis material dan kondisi proses forming yang dilakukan. Bagian-bagian dari pesawat udara mayoritas terbuat dari bahan allumunium paduan baik itu pesawat sipil maupun pesawat militer, karena material ini memilki karakteristik yang memenuhi kriteria bahan yang cocok dipergunakan dalam pembuatan komponen pesawat udara yaitu : ringan, kuat, ulet, tahan korosi, dan yang terpenting mampu bentuk. Pada proses pembentukan dan pencetakan dapat dikelompokan pada tiga bagian pengerjaan, yaitu : bagian pemotongan (cutting fitter), bagian manual (hand forming), dan bagian mekanik (mechanical forming).

**Bagian Pemotongan**

Bagian cutter fitter adalah suatu bagian yang mempunyai tugas dalam pengerjaan pemotongan, pengeboran, dan breakshape yaitu pengerjaan akhir dari komponen-komponen pesawat udara dari awal pengerjaan sampai pada proses selanjutnya. Pada bagian cutting fitter mesin yang digunakan adalah mesin “Rotary Cutter Machine” dengan cuter/pisau yang berputar.

**Prinsip Kerja Mesin Rotary Cutter Horizontal**

Mesin ini dapat berfungsi sebagai pemotong dan dapat juga untuk membuat lubang (bor) khusus material dari dural, dimana proses pemotongan dilakukan oleh sebuah pisau/cutter dan pengeboran dengan mata boryang dapat ditukar sesuai dengan kebutuhan.

Mesin ini digerakan oleh motor listrik yang mempunyai kecepatan putar pisau yang bervariasi. Proses pemotongan dan pengeboran dilakukan dengan memasang material di atas meja yang dicekam dengan kuat agar tidak bergerak,

sedangkan mesin atau cutter bergerak mengikuti template yang bergerak berlawanan dengan putaran jarum jam. Material yang dikerjakan pada mesin ini berukuran besar dan mampu memotong sampai ketebalan 6 mm.

**Proses Pemotongan**

A. Keselamatan kerja
   - Gunakan alat keselamatan pelindung diri
   - Hindari benturan keras pada cutter saat pemotongan awal
   - Pakailah collet, bush/pen dan cutter sesuai dengan tahapan-tahapan pengerjaannya.

B. Alat-alat yang digunakan
   - Alat tools spesial (cutting template)
   - Collet sesuai dengan ukuran
   - Bush sesuai dengan ukuran
   - Cutter sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan
   - Mata bor sesuai dengan ukuran
   - Kunci L
   - Klem untuk menjepit tools dan material.

C. Persiapan
   - Memeriksa kelengkapan dari lembaran proses, material dan menyiapkan peralatan-peralatan yang dibutuhkan
   - Menyiapkan peralatan keselamatan kerja
   - Mempersiapkan mesin yaitu memasang collet, bush, dan cutter

D. Langkah Kerja
   - Membuat lubang tool (tooling hole) yaitu pembuatan lubang yang fungsinya sebagai alat bantu pemegang antara benda kerja dengan tool, supaya tidak terjadi pergeseran pada waktu mesin mulai dioperasikan
   - Memasang material pada bantalan pembantu
   - Menempatkan material yang terpasang pada tool diatas meja kerja
   - Menyetel jarak ketinggian antara bush dan tool standart untuk menentukan ketinggian cutter dengan material
   - Mengatur kecepatan putar motor
   - Menghidupkan kran angin pada mesin untuk pendinginan dan dapat membersihkan tatal yang menghalangi penglihatan pada waktu operasi pemotongan berlangsung
   - Hidupkan mesin dilanjutkan dengan operasi pemotongan awal yaitu pemotongan dengan tool standart yang arah putarannya berlawanan dengan arah putaran jarum jam
   - Setelah pemotongan awal selesai dilanjutkan dengan pemotongan akhir dengan cutter yang lebih kecil mengikuti tool yang arah putarannya searah dengan putaran jarum jam
   - Pemotongan selesai lepas material dari meja kerja.

**Keuntungan Mesin Rotary**

Mesin ini dapat menyelesaikan beberapa pekerjaan yang sama sekaligus sehingga pengerjaannya lebih cepat dan hasil pemotongan lebih rata dan halus, serta tidak mengalami goresan dan perubahan bentuk pada material.

**Kekurangan Mesin Rotary**

Kekurangan mesin ini bila terjadi kegagalan maka akan merusak semua material dan tidak dapat memotong material yang mempunyai radius kecil. Untuk memotong material yang ukurannya kecil dan memiliki radius yang kecil dapat menggunakan mesin rotary cutter vertikal.

**2). Manual Forming ( Hand Forming )**

Hand forming yaitu suatu proses pemebentukan yang dilakukan secara manual/tangan, proses ini merupakan langkah awal dari suatu proses pembentukan part yang dilanjutkan pada proses lain, selain itu banyak single part yang tidak dapat dikerjakan dengan mesin sehingga harus dilakukan secara manual. Proses hand forming bukan hanya pembentukan part saja akan tetapi juga melakukan proses melevel, meratakan material-material berbentuk sheet, profil maupun tube.

**A. Alat-alat Pembentukan Dengan Tangan ( Hand Tools Sheet Metal Forming )**

Didalam proses pembentukan part-part pesawat udara dengan cara hand forming dibutuhkan alat-alat tangan sebagai alat pembentuk. Walaupun kelihatannya alat-alat pembentuk ini sederhana akan tetapi dengan peralatan ini dapat membuat part-part pesawat dalam berbagai macam bentuk seperti bentuk setengah bola, silinder, kerucut dll.

Peralatan yang dipakai pada proses pembentukan part secara manual dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu :

- Alat Utama (Main Tools)
- Alat Pendukung (Support Tools)

1. Alat Utama Aktif (Active Main Tools)

1.1. Palu Peregang (Stretching Hammer)

Palu ini ada dua bentuk yang pertama berbentuk bola dan pen yang berfungsi untuk meregangkan permukaan benda kerja berbentuk lingkaran atau radius serta bentuk-bentuk cembung.

Gbr. 1.1 : Palu

Peregang

1.2. Palu Perata dan Peregang (Planning and grooving hammer)

Palu ini bentuk kepalanya pen dan plate dapat berfungsi sebagai peregang dan dapat juga dipakai sebagai finishing. Bentuk kepala yang dipakai untuk finishing terdapat dua bentuk yaitu berbentuk lingkaran dan segi empat.

Gbr. 1.2 : Palu perata dan peregang

1.3. Palu Perata (Finishing Hammer)

Palu ini berfungsi untuk meratakan permukaan yang dikerjakan menggunakan palu peregang atau sebagai finishing. Palu ini juga memilki dua jenis permukaan yaitu disatu sisi permukaannya berbentuk segi empat dan disisi lain permukaannya berbentuk lingkaran.

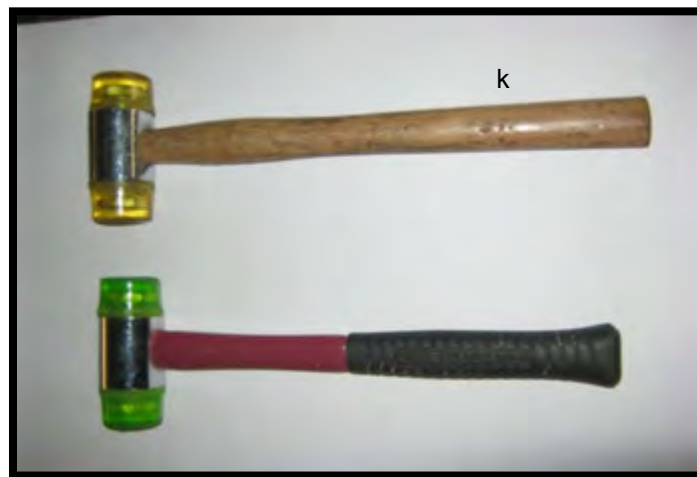
Gbr. 1.3 : Palu perata

1.4. Palu Pembentuk Lunak (Mallet)

Palu pembentuk lunak atau lebih dikenal dengan mallet sering digunakan pada proses pembentukan logam (sheet metal forming). Palu ini umumnya terbuat dari bahan kayu, plastik, karet, dan timah hitam. Jenis palu ini tidak merusak permukaan material yang dibentuk, karena palu ini termasuk palu ringan. Bentuk palu lunak yang dipakai pada proses pembentukan logam dilihat dari fungsinya adalah :

1.4.1. Palu Lunak Rata

Palu ini berfungsi untuk meratakan dan untuk mengerutkan permukaan benda kerja berbentuk flen. Umumnya palu ini terbuat dari kayu, karet, dan plastik

Gbr. 1.4 : Palu lunak dari plastik

Gbr. 1.5 : Palu lunak rata dari kayu

Gbr. 1.6 : Palu lunak rata dari teplon

1.4.2. Palu Lunak Radius / Bola

Palu ini terbuat dari bahan kayu dan berfungsi untuk membentuk benda kerja yang berbentuk kurva, radius cekung atau cembung.

Gbr. 1.7 : Palu lunak bola

2. Alat Utama Pasif (passive Main Tools)

   Alat utama pasif adalah alat yang tidak bergerak yaitu landasan (anvil). Landasan yang dipakai pada pekerjaan pembentukan sheet metal berdasarkan bahannya terdiri dari :

   - Landasan Besi (steel anvil)
   - Landasan Kayu (wood anvil)
   - Landasan Pasir Dalam Karung (Sand Bag Anvil)
   - Perata (Surface Plate)

   a. Landasan Besi Permukaan Rata

   Landasan permukaan rata ada yang berbentuk seperti telapak kuda dan ada pula yang berbentuk lingkaran / silinder. Landasan ini biasanya dipakai untuk membentuk dan meregangkan permukaan rata dan landasan yang berbentuk silinder dapat pula dipakai untuk proses pengerutan pada benda-benda yang akan dibuat berbentuk silinder.

Gbr. 1.8 : Landasan besi permukaan rata

b. Landasan Besi Bola (Round Head Stake)

Landasan bola terdiri dari beberapa ukuran diameter bolanya hal ini disesuaikan dengan kebutuhan part yang akan dibentuk. Landasan bola dipakai untuk membentuk benda-benda berbentuk cembung, setengah bola atau berbentuk curva.

Gbr. 1.9 : Landasan besi bola

c. Landasan Besi Cembung dan Radius

Landasan ini ada yang dikombinasikan dengan permukaan rata dan bentuk silinder tirus. Landasan ini dipakai untuk membentuk benda kerja silinder tirus dan bentuk kurva.

Gbr. 1.10 : Landasan besi cembung dan radius

d. Landasan Bangku

Landasan ini lebih besar dari landasan lain oleh karena itu umumnya landasan ini ditopang oleh rangka besi sebagai dudukannya. Bentuk landasan ini bermacam-macam disesuaikan dengan bentuk benda yang akan dibuat.

Gbr. 1.11 : Landasan Bangku

e. Landasan Kayu (wood anvil)

Landasan kayu dapat digunakan untuk pembentukan benda berbentuk radius cekung atau cembung dengan proses pengerutan maupun peregangan.

Gbr. 1.12 : Landasan kayu

f. Landasan Timah

Landasan ini terbuat dari timah dipakai untuk proses peregangan bentuk radius atau kurva.

Gbr. 1.13 : Landasan Timah

g. Landasan Bentuk Lainnya
Pada umumnya landasan dibawah ini terbuat dari baja dengan bermacam-macam bentuk dan ukuran yang tentunya disesuaikan dengan bentuk benda kerja yang akan dibuat dalam proses hand forming.

Gbr. 1.14 : Macam-macam Landasan

2. Alat Pendukung (Support Tools)

Alat pendukung dapat dikategorikan sebagai alat bantu dalam proses pengerjaan single part. Yang termasuk alat pendukung diantaranya

a. Tools DPM ( Detail Part Manufacturing )
b. Template Multi Purpose

Template ini mempunyai dua fungsi, yaitu :

- Marking Template, dimana material setelah dilukis sesuai dengan mal lalu material tersebut dipotong seperti informasi yang ada pada template tersebut.
- Control Template, dimana setelah material dipotong dan sisi-sisinya dibersihkan dari ketajaman selanjutnya material tersebut dibentuk sesuai dengan control template

Gbr. 1.15 : Control Template

c. Swadge

Swadge adalah alat bantu dalam proses pembuatan komponen single part seperti : ribs, frames, nose ribs dll.

Swadge terdiri dari dua komponen yaitu yang berfungsi sebagai matres dan satunya lagi berfungsi sebagai penjepit. Pada swadge terdapat pasak/pen pengunci yang berfungsi agar material yang dibentuk tidak bergeser atau berubah.

Gbr. 1.16 : Swadge

Gbr. 1.17 : Swadge

d. Stretching Tools

Stretching tools adalah alat peregangan pada material sheet dan kegunaannya hampir sama dengan shrinkking yaitu untuk membentuk suatu bentuk lengkungan hanya bedanya kalau shrinking untuk pengkerutan sedang stretching adalah untuk peregangan.

Alat-alat yang termasuk pada strtching tools diantaranya :

- Stretching machine
- Stretch forming principle machine
- Transverse strech forming machine
- Longitudinal stretch forming machine
- Stretch wrap methode machine
- Stretch manual forming

e. Joggling Die

Joggle adalah merupakan suatu double bend dari sebuah sheet metal yang berfungsi untuk menempatkan beberapa plat sheet yang sejajar satu dengan yang lainnya.

f. Alat-alat Potong

Gunting Tangan

Dalam proses pengerjaan pembentukan terdapat beberapa jenis gunting tangan antara lain gunting radius kiri dan kanan, gunting untuk memotong profile, gunting universal dll. Dalam pemakaiannya gunting tangan hanya dipakai untuk memotong bahan atau material pelat yang tipis

Gbr. 1.18 : Gunting Tangan

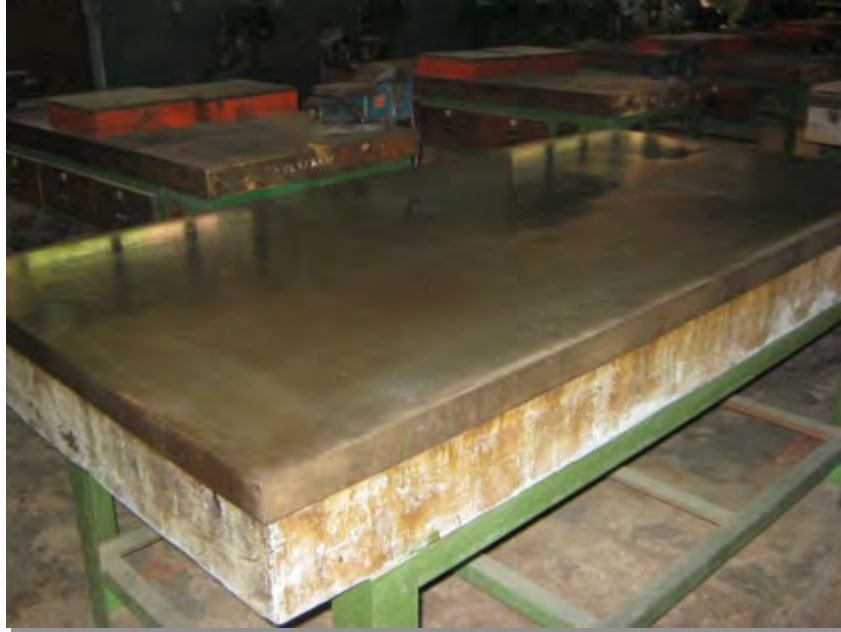
Gunting Tuas dan Balance

Gunting tuas bisa dipakai untuk jenis pemotongan lurus, radius, dan lingkaran serta pelat yang dipotong bisa lebih tebal. Sedangkan gunting balance hanya untuk memotong lurus. Pada gunting balance terdapat pembatas/stoper sehingga bila memotong material yang panjang/lebar maka garis pemotongan tidak akan melenceng / menyimpang.

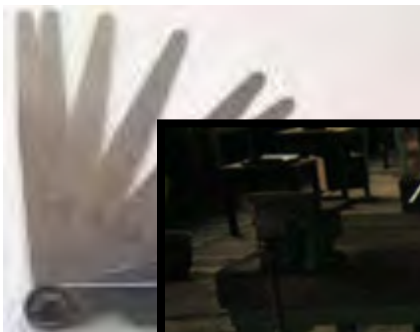
Gbr. 1.19 : Gunting Tuas

Gbr. 1.20 : Gunting Balance

g. Meja Perata

Meja perata berfungsi sebagai alat kontrolkerataan permukaan benda kerja.

Gbr. 1.21 : Meja perata

h. Alat-Alat Ukur

- Mistar baja
- Mistar sorong / vernier caliper
- Mistar siku
- High gauge
- Bevel protector
- Radius gauge
- Filler gauge

Gbr. 1.22 : Filler gauge

Gbr. 1.24 : High gauge

i. Alat-Alat Lukis
    - Penggores
    - Pensil
    - Spidol
j. Scrafer
k. Gergaji (saw)
    - Hack saw
    - Band saw
l. Kikir (File)
    - Steel file : kikir besi kasar dan Kikir besi halus
    - Durallumin file : kikir dural kasar dan kikir dural halus
m. Klem C (sheet clamp)

Gbr. 1.25 : Klem C

**b. Rangkuman 1**

1). Pengertian sheet metal forming, yaitu suatu proses pembentukan single part / komponen dari logam berbentuk lembaran, profile, tube kemudian single part ini dirakit atau diassembling sehingga menjadi suatu produk.

2). Proses sheet metal forming terdiri dari tiga kelompok, yaitu :
- Bagian Pemotongan ( Cutting fitter )
- Bagian Manual ( Hand formjng )
- Bagian Mekanik ( Mechanical forming )

3). Mesin yang digunakan untuk memotong bahan dalam proses sheet metal forming yaitu mesin Rotary Cutter Machine. Keuntungan menggunakan mesin ini yaitu dapat mengerjakan pemotongan dan pengeboran sekaligus dalam jumlah yang banyak.

4). Hand forming adalah suatu proses pembentukan yang dilakukan secara manual, dimana proses ini merupakan langkah awal dari rposes pembentukan part yang dilanjutkan pada proses lain.

5). Alat-alat yang dipakai dalam proses pembentukan sheet metal forming pada intinya terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu : alat utama ( main tools ) dan alat pendukung ( support tools ).

6). Alat-alat utama terbagi menjadi dua kelompok, yaitu : alat utama aktif dan alat utama pasif.

7). Alat-alat utama aktif terdiri dari macam-macam palu diantaranya : palu pembentuk dari logam, dan palu pembentuk lunak.

8). Palu pembentuk dari logam berfungsi untuk meregangkan, mengkerutkan dan meratakan permukaan benda kerja yang sedang diproses secara hand forming.

9). Palu pembentuk lunak berfungsi untuk mengkerutkan dan meratakan (finishing).

10). Alat-alat utama pasif terbagi menjadi dua kelompok yaitu macam-macam landasan yang terbuat dari logam dan landasan yang terbuat dari kayu.

11). Alat-alat pendukung (support tools) terbagi menjadi 4 kelompok, yaitu :
- Alat-alat ukur
- Alat-alat potong
- Alat-alat kontrol
- Alat-alat finishing

**c. Tugas 1**

1). Pelajari semua alat-alat yang dipakai dalam proses pembentukan sheet metal forming cermati karakteristiknya, spesifikasinya, dan cara menggunakannya.

2). Setelah mempelajari alat-alat sheet metal forming lakukan praktek dasar sheet metal dengan langkah kerja sebagai berikut :

Bahan : Pelat allumunium dengan tebal 1,2 mm, lebar 15 mm, dan panjang 150 mm

Langkah kerja :

- Langkah pertama gunakan palu peregang atau palu pen dan landasan permukaan rata pukul permukaan benda kerja secara rata dan lurus sejauh 50 mm.
- Langkah kedua selanjutnya pukul bagian sisi sebelah kiri dari benda kerja sejauh 50 mm.
- Langkah terakhir pukul bagian sisi sebelah kanan benda kerja sampai batas / ujung benda kerja.

3). Amati apa yang terjadi pada benda kerja tersebut lalu buatlah laporan praktikumnya secara ringkas dan jelas.

**d. Tes Formatif 1**

1) Jelaskan pengertian sheet metal forming serta sebutkan tiga kelompok proses pengerjaannya!

2) Jelaskan prinsip kerja mesin rotary cutter horizontal !

3) Jelaskan pengertian hand forming !

4) Sebutkan tiga jenis palu pembentuk dari logam yang dipergunakan pada proses hand forming !

5) Jelaskan apa yang dimaksud dengan swadge !

**e. Kunci Jawaban Tes Formatif 1**

1) Sheet metal forming adalah suatu proses pembentukan single part / komponen dari logam yang berbentuk lembaran, profile, dan tube kemudian single part ini kemudian dirakit atau di assembling sehingga menjadi suatu produk.
   Sheet metal forming dikelompokan menjadi tiga kelompok, yaitu bagian pemotongan (cutting fitter), Bagian manual (hand forming), dan terakhir bagian mekanik (mechanical forming)

2) Mesin rotary cutter horizontal berfungsi sebagai pemotong dan bisa juga digunakan untuk melubangi material dari dural. Mesin ini digerakan oleh motor

listrik yang mempunyai kecepatan putar pisau yang bervariasi. Proses pemotongan dan pengeboran dilakukan dengan memasang material di atas meja, sedangkan mesin atau cutter bergerak mengikuti template yang bergerak berlawanan dengan arah putaran jarum jam.

3) Handa forming adalah suatu proses pembentukan yang dilakukan secara manual atau dengan tangan dimana proses ini merupakan awal dari suatu proses pembentukan part yang dilanjutkan pada proses lain. Pda proses han forming selain pembentukan juga dikerjakan proses meratakan dan melevel.

4) Pada proses hand forming yang termasuk alat-alat utama aktif, diantaranya :

    - Palu peregang (strtching hammer)
    - Palu perata dan peregang (planning and grooving hammer)
    - Palu perata (finishing hammer)

5) Swadge adalah salah satu alat bantu dalam proses pembentukan dengan manual dimana swadge terdiri dari dua komponen yaitu ada yang berfungsi sebagai matres dan satu lagi berfungsi sebagai penjepit benda kerja

**f. Lembar Kerja 1**

**Proses peregangan bentuk setengah lingkaran**

**1) Alat dan Bahan**

a) Satu lembar plat allumunium yang berukuran 190 mm x 190 mm x 1,2 mm
b) Alat-alat utama aktif hand forming
c) Alat-alat utama pasif hand forming
d) Alat-alat pendukung hand forming
e) Alat-alat lukis
f) Alat-alat pemotong
g) Alat-alat ukur
h) Mal

**2) Keselamatan Kerja**

a) Gunakan peralatan tangan pembentuk (hand forming tools) sesuai dengan fungsinya
b) Ikutilah instruksi dari guru ataupun prosedur kerja yang tertera pada lembar kerja (job sheet)
c) Konsultasikan dengan guru bila hendak melakukan pekerjaan diluar instruksi yang tertera pada lembar kerja
d) Pakailah APD (Alat Pelindung Diri) yang sesuai dengan jenis pekerjaan yang sedang dilaksanakan seperti ear mup dan safety shoes.

**3) Langkah Kerja**

a) Persiapkan alat dan bahan praktek secara cermat, efektif dan seefisien mungkin,
b) Ikuti petunjuk yang tertera pada lembar kerja,
c) Perhatikan instruksi yang disampaikan oleh guru,
d) Lakukan proses pemotongan bahan,
e) Lakukan proses menghilangkan ketajaman sisi-sisi benda kerja dengan alat yang dianjurkan,
f) Lakukan proses melukis benda kerja untuk menentukan daerah-daerah / jona yang mendapatkan pukulan palu peregang,
g) Lakukan proses pemukulan benda kerja,
h) Setelah beres sesuaikan hasil akhir benda kerja dengan mal,
i) Bereskan kembali peralatan yang telah dipergunakan seperti keadaan semula dan bersihkan tempat kerja.

**4) Tugas**

a) Buatlah laporan praktek secara ringkas dan jelas.
b) Buatlah rangkuman pengetahuan baru yang anda peroleh setelah mempelajari materi pada kegiatan belajar 1.

## 3. Kegiatan Belajar 2 : Perhitungan Bukaan Material ( Calculation Material )

### a. Tujuan Kegiatan Belajar 2

1). Siswa dapat menjelaskan pentingnya perhitungan kebutuhan bahan dalam proses sheet metal,
2). Siswa dapat menentukan kebutuhan bahan pada proses peregangan (stretching),
3). Siswa dapat Siswa dapat menentukan kebutuhan bahan pada proses pengkerutan (Shrinking),
4). Siswa dapat menentukan kebutuhan bahan bentuk setengah bola (convex),
5). Siswa dapat menentukan kebutuhan bahan pada proses bending

### b. Uraian Materi 2

Perhitungan bukaan / bentangan material diperlukan untuk proses pengerjaan sheet metal yang akan dibentuk sesuai dengan dimensi yang tertera pada gambar jobsheet.

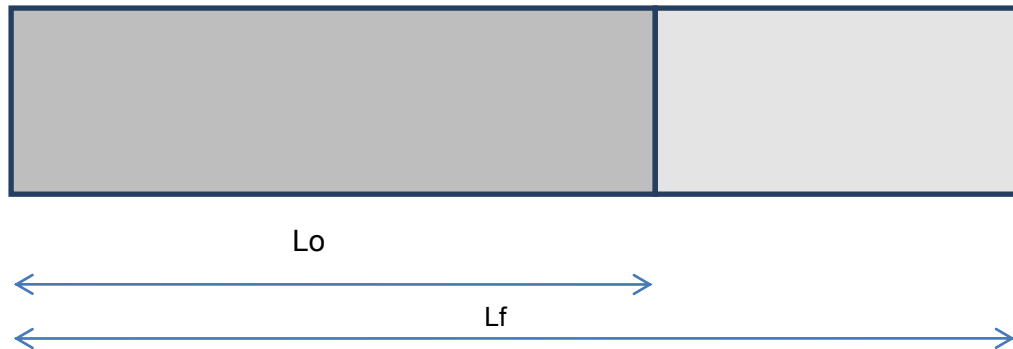
Manfaat dari perhitungan bukaan ini adalah untuk mendapatkan ukuran yang tepat pada material sehingga dalam proses pembuatan single part tidak terjadi kekurangan atau kelebihan material yang terlalu banyak.

Beberapa proses sheet metal forming yang dalam pengerjaannya harus terlebih dahulu dihitung bukaan/bentangan materialnya, antara lain :

- Proses stretching

- Proses srinking
- Proses bentuk setengah bola atau convex
- Proses bending

**1. Proses Stretching**

Proses stretching adalah merupakan salah satu proses sheet metal yang merupakan proses peregangan material. Biasanya proses ini dilakukan untuk pengerjaan bentuk-bentuk single part melingkar atau lurus.

Gbr. 2.1 : Plat bentuk lurus

Rumus :

$$A\,\% = \frac{Lf - Lo}{Lo} \times 100\,\%$$

$$Tf = To - (To \times A\,\%)$$

Dimana :

A % = Perpanjangan material dalam %
Lo = Panjang material sebelum dibentuk
Lf = Panjang material sedudah dibentuk
To = Tebal material sebelum dibentuk
Tf = Tebal material sesudah dibentuk

Contoh Soal :
Diketahui
Panjang material awal Lo = 100 mm
Panjang material sesudah dibentuk Lf = 125 mm
Tebal material awal To = 1,6 mm
Bahan material 2024 To

Ditanya

a. Prosentase pengembangan material ( A % )
b. Tebal material setelah dibentuk ( Tf )

Jawab :

a. Prosentase pengembangan material

$$A\ \% = \frac{Lf - Lo}{Lo} \times 100\ \%$$

$$= \frac{125 - 100}{100} \times 100\ \%$$

$$= \frac{25}{100} \times 100$$

$$= 25\ \%$$

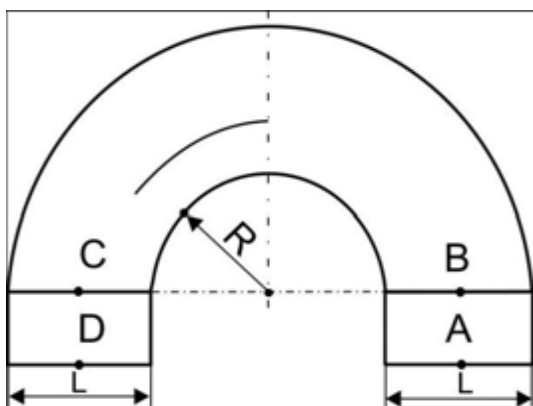
b. Tebal material setelah dibentuk

$$Tf = To - ( To \times A\ \% )$$

$$= 1{,}6 - ( 1{,}6 \times 25\ \% )$$

$$= 1{,}6 - 0{,}4$$

$$= 1{,}2 \text{ mm}$$

***Bentuk Melingkar/Melengkung***

Rn = R +

Gbr. 2.2 : Plat setengah lingkaran yang dibentuk dengan proses stretching

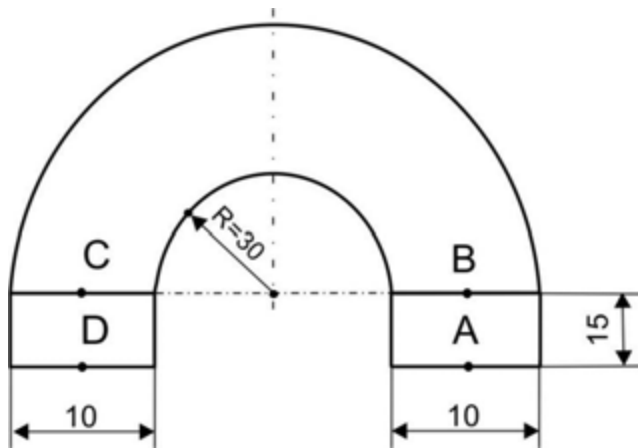
Contoh soal :

Diketahui : ( Lihat gambar )

- Tebal material 1,2 mm
- Bahan material 5152 H36

Ditanyakan :

- Panjang material bukaan / bentangan.

Jawab :

- Panjang material bentangan ( AD )
  AD = AB + BC + CD

  AB = CD = 15 mm

  BC =

  Rn = R + = 30

= 30 + 2,8 = 32,8 mm

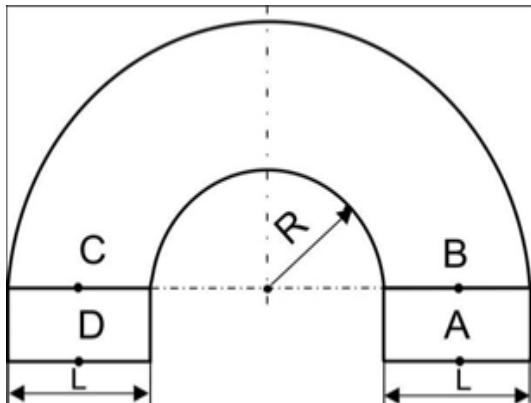
BC =

Jadi panjang material bukaan/bentangannya adalah :

AD = AB + BC + CD

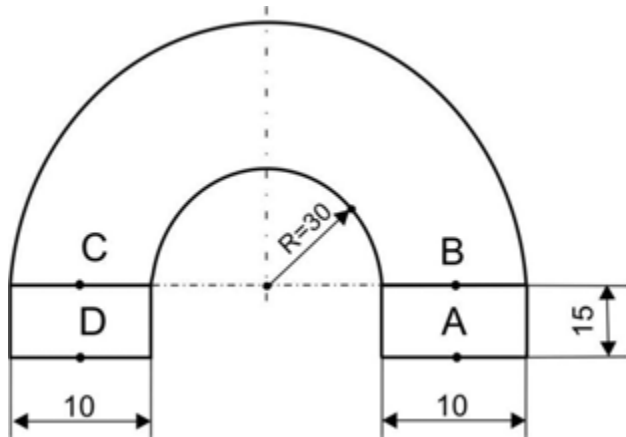
= 15 + 102,992 + 15 = **132,992**

2. **Proses Shrinking**

Proses shrinking adalah proses pengkerutan, pada proses ini bentuk – bentuk pengerjaannya sama dengan proses stretching hanya dalam pengerjaannya proses shrinking adalah kebalikan dari proses stretching.

Rumus : **BC =**

**Rn = R + Lebar**

Gbr. 2.3 : Plat setengah lingkaran yang dibentuk dengan proses srinking

Contoh Soal :

Diketahui : ( Lihat Gambar )

- Tebal material = 1,2 mm
- Bahan material = 5152 H36

Ditanyakan :

- Panjang material bukaan/bentangan
- Panjang material bentangan ( AD ).

Jawab :

AD = AB + BC + CD

AB = CD = 15 mm

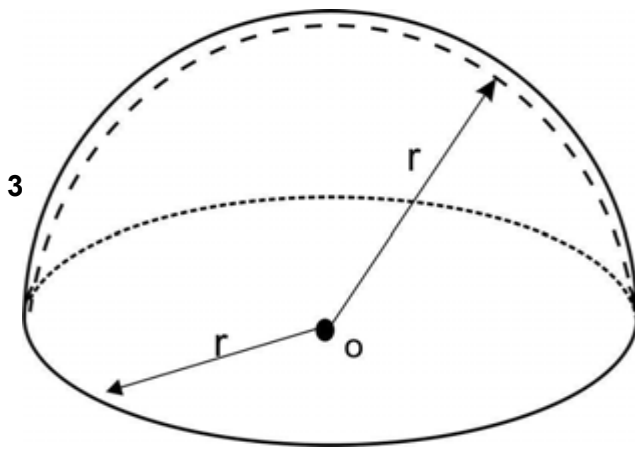
BC =

Rn = R + Lebar = 30 + 10 = 40 mm

BC =

Jadi panjang bukaan / bentangan adalah :

AD = AB + BC + CD

= 15 + 125 + 15 = **155** mm.

3

etengah lingkaran(Convex) adalah merupakan ing dan proses shrinking . Bentuk – bentuk ini bentuk Nose Aircraft.

gunakan rumus setengah lingkaran / bowl

***Metode Matematis***

a. Methode Mathematik

Rumus:

R = Radius bentangan material.

r = Radius benda kerja yang sudah jadi.

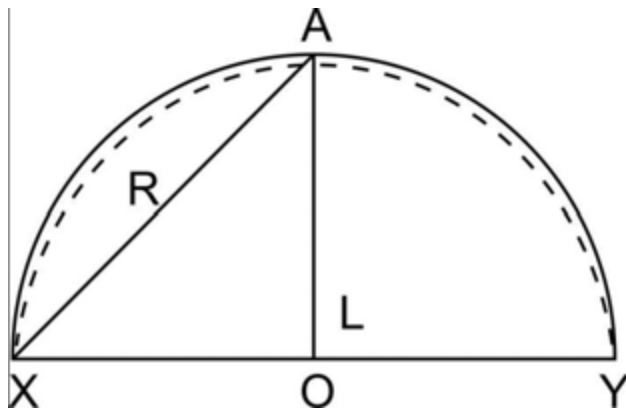
$\mathbf{R^2 = r^2 + r^2}$

**R =**

=

= r

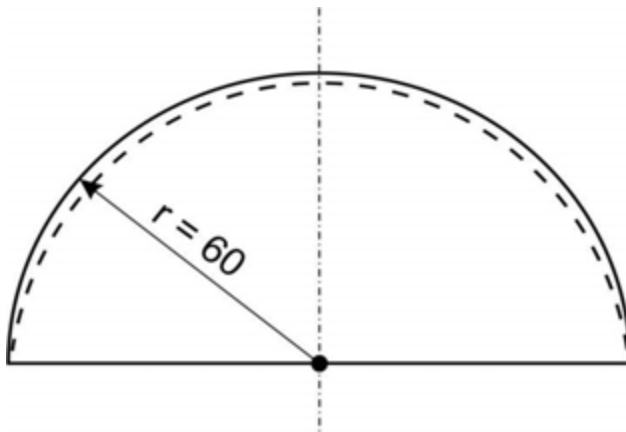
R = **1,414** r.

***Metode Grafis***

Rumus :

XY = diameter benda kerja jadi.

XO
OY = radius
AO

R = Panjang Garis

Contoh Soal :

Diketahui : ( Lihat Gambar )

- Tebal material = 1,6 mm.
- Bahan material 7020 To

Ditanya :

- Rencanakan material yang dibutuhkan untuk membuat benda kerja seperti pada gambar.

Jawab :

Untuk menghitung material yang dibutuhkan ( bukaan material ) kita harus menggunakan rumus Phitagoras, sebagai berikut :

$\mathbf{R^2 = r^2 + r^2}$

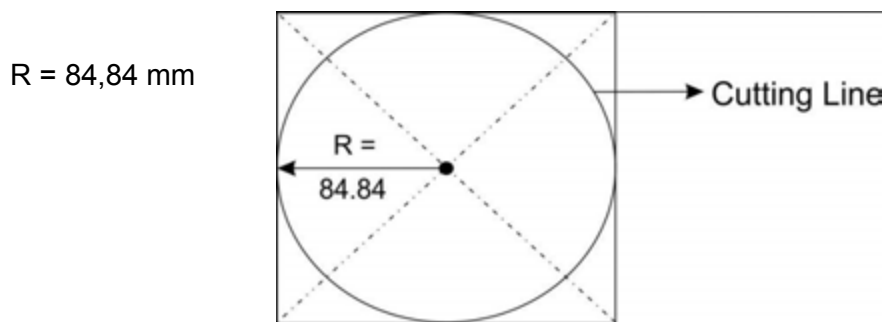
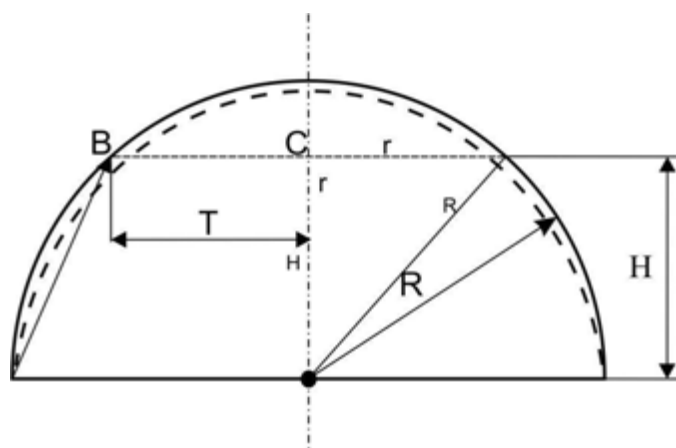
**R =**

= 1,414 r

= 1,414 x 60

= **84,84** mm

Jadi radius ( R ) bukaan / bentangan materialnya adalah :

R = 84,84 mm

***Bagian permukaan atas diratakan.***

Rumus :

H =

**3. Proses Bending**

Proses bending adalah merupakan suatu proses bend (tekuk) atau pembengkokan pada sheet metal sehingga tercapai sudut bending yang diharapkan. Bentuk material yang akan dibending bisa berupa bending a rod, bending a tube dan bending a sheet.
Dalam menghitung kebutuhan bahan pada proses bending, harus diperhatikan hal-hal sevagai berikut :

- Ukuran batang profile
- Jari-jari bending
- Tebal pelat
- Sudut lipatan / tekukan

Kemudian baru kita tentukan :

- Panjang bagian yang tidak dibentuk/tidak diproses
- Panjang bagian yang mengalami pembentukan lipatan/tekukan
- Panjang keseluruhan bukaan
- Garis bending.

Gbr. 2.4 : Bending

Menghitung bentangan/bending yang membentuk sudut $90^0$

*Rumus :*

$$L = a' + b' + \frac{2\pi . Rn.\alpha}{360^0}$$

Untuk menghitung panjang bentangan bending yang membentuk sudut $90^0$ dapat dilakukan dengan menghitung bagian yang terdiri dari :

- Menghitung bagian yang tidak dibentuk

  $a' = a - ( R + t )$

  $b' = b - ( R + t )$

- Menghitung panjang bagian yang mengalami pembentukan lipatan atau tekukan

*Jari-jari netral*

$$Rn = R + \frac{t}{2}$$

*Panjang jari-jari netral*

$$C - C' = \frac{\pi . Rn}{2}$$

- Panjang Bukaan

$L = a' + b' + c - c'$

Dimana : $a' = a - (R + t)$

$b' = b - (R + t)$

$$c - c' = \frac{\pi . Rn}{2}$$

$$Rn = R + \frac{t}{2}$$

Jadi :

$$L = a' + b' + \frac{\pi . Rn}{2}$$

**c. Rangkuman Materi 2**

1. Perhitungan bukaan / bentangan material diperlukan untuk proses pengerjaan sheet metal yang akan dibentuk sesuai dengan dimensi yang tertera pada gambar jobsheet.

2. Manfaat dari perhitungan bukaan ini adalah untuk mendapatkan ukuran yang tepat pada material sehingga dalam proses pembuatan single part tidak terjadi kekurangan atau kelebihan material yang terlalu banyak.

3. Proses sheet metal forming yang dalam pengerjaannya harus terlebih dahulu dihitung bukaan/bentangan materialnya, antara lain :

   - Proses stretching
   - Proses srinking
   - Proses bentuk setengah bola atau convex
   - Proses bending

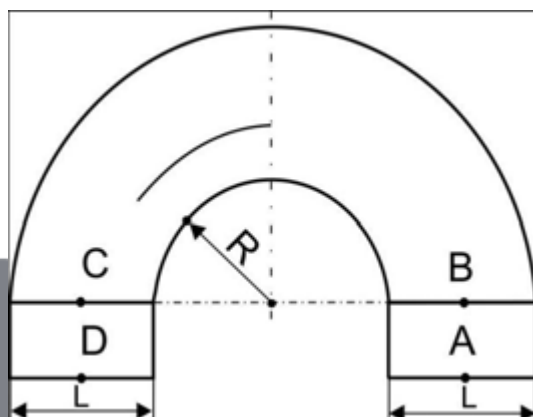
4. Perhitungan proses stretching material berbentuk lurus

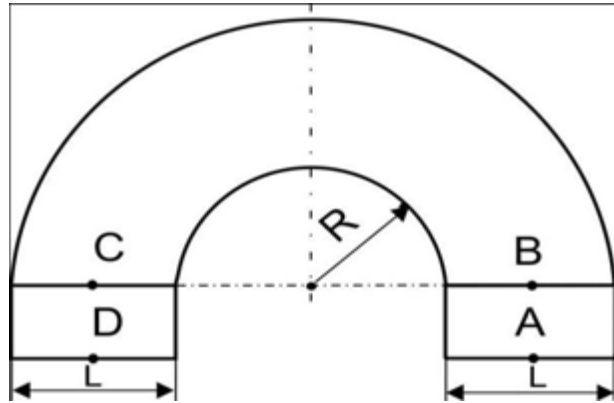
$$A\% = \frac{Lf - Lo}{Lo} \times 100\%$$

$$Tf = To - (To \times A\%)$$

Dimana :

A % = Perpanjangan material dalam %
Lo = Panjang material sebelum dibentuk
Lf = Panjang material sedudah dibentuk
To = Tebal material sebelum dibentuk
Tf = Tebal material sesudah dibentuk

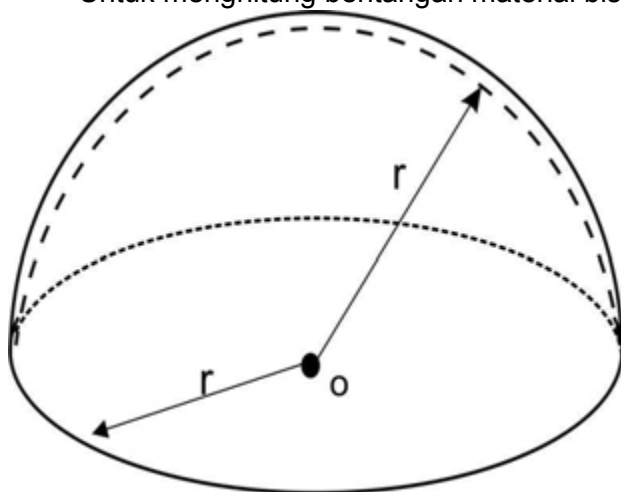
5. Perhitungan stretching bentuk melingkar/melengkung

Rn = R

6. Proses Shrinking adalah proses pengkerutan, pac pengerjaannya sama dengan proses Stretching hanya dalam pengerjaannya proses shrinking adalah kebalikan dari proses stretching.

**BC =**

**Rn = R + Lebar**

7. Bentuk Setengah Lingkaran (Convex)

Proses pembentukan pada bentuk – bentuk setengah lingkaran(Convex) adalah merupakan suatu proses kombinasi antara proses stretching dan proses shrinking . Bentuk – bentuk ini biasanya untuk membuat single part yang berbentuk Nose Aircraft.

Untuk menghitung bentangan material bisa digunakan rumus setengah lingkaran / bowl calculation.

a. <u>Methode Mathematik</u>

Rumus:

R = Radius bentangan material.

R = Radius benda kerja yang sudah jadi.

$\mathbf{R^2 = r^2 + r^2}$

**R =**

**=**

**= r**

**R = <u>1,414</u> r.**

8. Proses bending adalah merupakan suatu proses bend (tekuk) atau pembengkokan pada sheet metal sehingga tercapai sudut bending yang diharapkan. Bentuk material yang akan dibending bisa berupa bending a rod, bending a tube dan bending a sheet.
9. Dalam menghitung kebutuhan bahan pada proses bending, maka harus diperhatikan :

- Ukuran batang profile
- Jari-jari bending
- Tebal pelat
- Sudut lipatan / tekukan

Kemudian baru kita tentukan :

- Panjang bagian yang tidak dibentuk/tidak diproses
- Panjang bagian yang mengalami pembentukan lipatan/tekukan
- Panjang keseluruhan bukaan
- Garis bending.

Menghitung bentangan/bending yang membentuk sudut $90^0$

*Rumus :*

$$L = a' + b' + \frac{2\pi . Rn.\alpha}{360^0}$$

Untuk menghitung panjang bentangan bending yang membentuk sudut $90^0$ dapat dilakukan dengan menghitung bagian yang terdiri dari :

- Menghitung bagian yang tidak dibentuk

  $a' = a - (R + t)$

  $b' = b - (R + t)$

- Menghitung panjang bagian yang mengalami pembentukan lipatan atau tekukan

*Jari-jari netral*

$$Rn = R + \frac{t}{2}$$

*Panjang jari-jari netral*

$$C - C' = \frac{\pi . Rn}{2}$$

- Panjang Bukaan

  L = a' + b' + c - c'

  Dimana : a' = a - ( R + t )
  b' = b - ( R + t )

  $$c - c' = \frac{\pi . Rn}{2}$$

  $$Rn = R + \frac{t}{2}$$

Jadi :

$$L = a' + b' + \frac{\pi . Rn}{2}$$

**d. Tugas 2**

1) Diketahui :

   Pada proses stretching bentuk lurus dengan data sebagai berikut :

   - Panjang material awal ( Lo ) = 100 mm
   - Panjang material setelah dibentuk ( Lf ) = 125 mm
   - Tebal material awal ( To ) = 1,6 mm
   - Bahan material 2024 To

   Ditanya :

   - Prosesntase pengembangan material ( A% )
   - Tebal material setelah dibentuk ( Tf )

2) Setelah hasil perhitungan dikerjakan selanjutnya lakukan praktek stretching (peregangan) benda bentuk lurus dengan data bahan seperti pada soal di atas.

## e. Tes Formatif

1) Jelaskan mengapa sebelum malakukan proses pengerjaan sheet metal dengan cara hand forming sebaiknya kita harus menghitung bukaan material terlebih dahulu !

2) Sebutkan proses sheet metal forming yang dalam pengerjaannya harus terlebih dahulu dihitung bukaan materialnya !

3) Tuliskan rumus perhitungan bentangan material pada bentuk setengah bola (convex) secara matematik dan secara grafis !

4) Pada penghitungan kebutuhan material proses bending, beberapa hal yang harus diperhatikan sebagai acuan adalah !

5) Pada proses bending secara teoritis bagian yang tidak mengalami perubahan adalah !

## f. Kunci Jawaban Tes Formatif 2

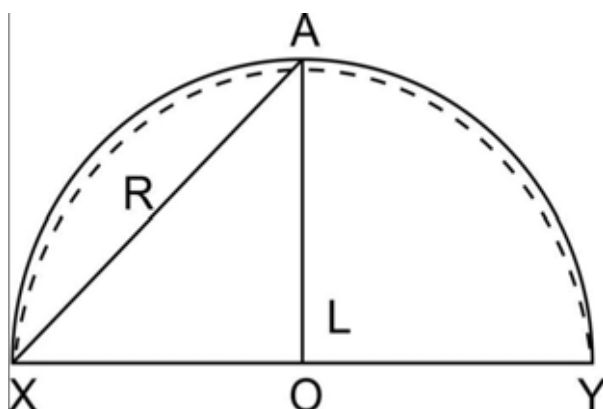
1) Penghitungan bukaan material diperlukan untuk proses pengerjaan sheet metal yang akan dibentuk sesuai dengan dimensi yang tertera pada jobsheet dan keguanaan dari penghitungan ini secara khusus adalah untuk mendapatkan ukuran yang tepat pada material sehingga dalam proses pembuatan single part tidak terjadi kekurangan/kelebihan material yang terlalu banyak.

2) Beberapa proses sheet metal forming yang dalam pengerjaannya harus terlebih dahulu dihitung bukaan materialnya adalah :
   - Proses stretching
   - Proses shrinking
   - Proses setengah bola (convex)
   - Proses bending

3) Rumus perhitungan bentuk setengah bola proses shrinking bias dilakukan dengan dua cara/metode, yaitu :
   - Secara matematik

     R = 1,414 r

     Dimana

     R = Radius bentangan material
     r = Radius benda kerja yang sudah jadi

   - Secara Grafis

4) Dalam menghitung bentangan pada proses bending maka harus diperhatikan beberapa hal yaitu :
   - Ukuran batang profile
   - Jari-jari bending
   - Tebal pelat
   - Sudut lipatan/tekukan
5) Pada proses bending material dengan sudut yang bervariasi maka bagian material yang tidak mengalami perubahan secara teoritis adalah ***garis netral*** material.

### 3. Kegiatan Belajar 3 : Metode Pemukulan / Pembentukan

#### a. Tujuan Kegiatan Belajar 3

Setelah mempelajari kegiatan belajar 3 ini diharapkan siswa dapat :

1) Menjelaskan proses pembentukan sheet metal secara cara hand forming dengan baik dan benar,
2) Menjelaskan alat-alat yang dipergunakan dalam proses pembentukan sheet metal se cara hand forming dengan baik dan benar,
3) Menjelaskan

#### b. Uraian Materi

Di dalam proses pelaksanaan pembentukan material dengan cara hand forming tanpa bantuan mesin maka untuk memperoleh hasil yang baik harus diperhatikan beberapa hal seperti :

1) Pilihlah peralatan pembentuk yang sesuai dengan proses faorming yang akan dilakukan, karena kalau tidak ada kesesuaian alat yang dipergunakan maka proses pembentukan akan lama dengan hasil yang tidak maksimal,
2) Pahami teknik dan prosedur pengerjaannya, hal ini perlu diperhatikan benar agar hasil material yang dibentuk cocok/sesuai dengan peruntukannya,
3) Pahami setiap permasalahan yang timbul selama proses pengerjaannya,
4) Selama proses pengerjaan amati setiap saat gunakan alat-alat pendukung sebaik mungkin agar terhindar kesalahan yang tidak diharapkan juga untuk mengefisienkan penggunaan bahan.

Dalam proses pembentukan secara hand forming ada 4 cara/metode yang umum kita kenal yaitu :

1) Stretching ( meregangkan )
2) Shrinking ( mengerutkan )
3) Bending ( membengkokan )
4) Straightening ( meluruskan/meratakan )

Gbr. 3.1 : Contoh benda kerja yang dibuat secara hand forming

**Proses Stretching**

Proses stretching adalah proses peregangan pada sheet metal biasanya material yang diregangkan adalah allumunium atau dural karena material ini memilki sifat-sifat yang cocok untuk proses peregangan dan material ini juga banyak dipakai sebagai komponen pesawat udara.

Dalam proses stretching palu yang dipakai yaitu palu peregang (stretching hammer), sedangkan landasan yang dipakai adalah landasan besi permukaan rata dan untuk proses perataan permukaan yang telah di regang menggunakan palu perata.

Palu perata

Palu peregang

Landasan permukaan rata

Gbr. 3.2 : Alat-alat yang dipakai untuk proses peregangan

Di dalam proses peregangan terdapat kaidah-kaidah yang perlu dicermati oleh setiap orang yang melaksanakan proses peregangan, antara lain :

1) Apabila bagian sisi kanan material sheet metal mengalami deformasi (stretching), maka material tersebut akan membengkok ke arah kiri dengan gaya P, lihat gambar di bawah.

Gbr. 3.3 : Peregangan sisi kanan

2) Apabila bagian sisi kiri material sheet metal mengalami deformasi (stretching), maka material tersebut akan membengkok ke arah kanan dengan gaya P, lihat gambar di bawah.

Gbr. 3.4 : Peregangan sisi kiri

3) Apabila bagian tengah material sheet metal mengalami deformasi (stretching), maka material tersebut akan bergerak lurus memanjang dengan gaya P, lihat gambar di bawah.

Gbr. 3.5 : Peregangan bagian tengah

**Proses shrinking (Pengkerutan)**

Proses shrinking adalah proses pengkerutan pada material sheet metal biasanya dilakukan dengan cara mengcrimping atau membuat gelombang pada bagian sisi benda kerja dengan palu mallet atau dapat pula dengan shrinking machine.

Alat-alat yang dipakai pada proses shrinking yaitu :

1) Palu lunak (mallet)
2) Palu perata
3) Landasan disesuaikan dengan bentuk kontur benda kerja
4) Plissoir, alat bantu untuk membentuk gelombang pada sisi material

Gbr. 3.6 : Proses pengkerutan

Kaidah yang harus diperhatikan dalam proses pengkerutan benda kerja berbentuk lurus

1) Apabila bagian sisi kanan material sheet metal dicrimping, maka material tersebut akan membengkok ke arah kanan dengan gaya P.
2) Apabila bagian sisi kiri material sheet metal dicrimping, maka material tersebut akan membengkok ke arah kiri dengan gaya P.

Pada proses pengkerutan seperti pada (gambar 3.5) sudut palu terhadap landasan sebaiknya kurang lebih $110^0$ dengan menjaga sudut ini maka diharapkan hasil pengkerutan benda lebih baik. Disamping itu usahakan benda kerja tetap bersentuhan/menempel pada landasan. Intensitas pukulan palu lakukan secara merata sedikit demi sedikit dimulai dari bagian atas lekukan melingkar sampai bagian luar lekukan. Jika perlu lakukan pengkerutan dengan bantuan plissoir untuk membuat lekukannya, seperti pada (gambar 3.6).

Material yang telah mengalami proses pengkerutan ketebalannya akan mengalami sedikit perubahan serta sifatnya akan sedikit lebih keras dan kaku

Gbr. 3.7 : Pembentukan lekukan dengan plissoir

**Proses Bending (membengkokan)**

Proses bending/pembengkokan adalah merupakan proses pembengkokan sheet metal material baik dilakukan secara manual maupun dengan bantuan mesin, hingga tercapai sudut bending yang diharapkan.

Bentuk material yang akan dibending bisa berupa bending a rod, bending a tube dan bending a sheet. Ada tiga metode untuk melakukan proses bending, diantaranya :

1) Proses bending manual
   Proses ini dilakukan dengan peralatan kerja bangku yang sederhana diantaranya ragum sebagai alat penjepit material, palu mallet sebagai alat pemukul atau pembentuk material serta kayu belanit sebagai alas agar permukaan palu tidak bersentuhan langsung dengan permukaan material yang dibending.

Gbr. 3.8 : Ragum

Langkah kerja bending secara manual

- Persiapkan alat dan bahan yang diperlukan
- Pasang clip angle pada mulut ragum dimana fungsi alat ini adalah untuk menghindari kekasaran permukaan material yang dijepit pada mulut ragum
- Jepit benda kerja pada ragum dengan garis yang akan dibending sejajar dengan tepi atas mulut ragum
- Pukul material secara tidak langsung tapi pemukulan memakai alas kayu belanit,hal ini dimaksudkan agar sudut bending bisa rata juga untuk menghindari rusaknya permukaan material yang dibending.
- Setelah selesai proses pemukulan, lepas material kemudian ratakan permukaan material di atas meja perata
- Ukur hasil bending dengan menggunakan alat ukur sudut (bevel protector)

Proses bending secara manual ini memiliki banyak kekurangannya antara lain :

- Sudut yang dibentuk biasanya kurang rata
- Permukaan material menjadi tidak rata walaupun sudah memakai alas
- Hanya bisa dipakai untuk membengkokan material dengan lebar terbatas (selebar mulut ragum)
- Ketebalan material yang bisa diproses terbatas, hanya untuk material dengan ketebalan maksimal ± 3 mm (material allumunium)

Gbr, 3.9 : Proses bending manual

2) Proses bending press

Proses bending press biasanya digunakan untuk melipat material lembaran baik allumunium maupun lembaran besi. Pada proses bending ini pembentukan sudut lipatnya menggunakan alat bantu yang disebut dengan male die dan female die. Alat yang dipergunakan untuk proses ini yaitu alat press hidrolik (seperti pada gbr. 3.9)

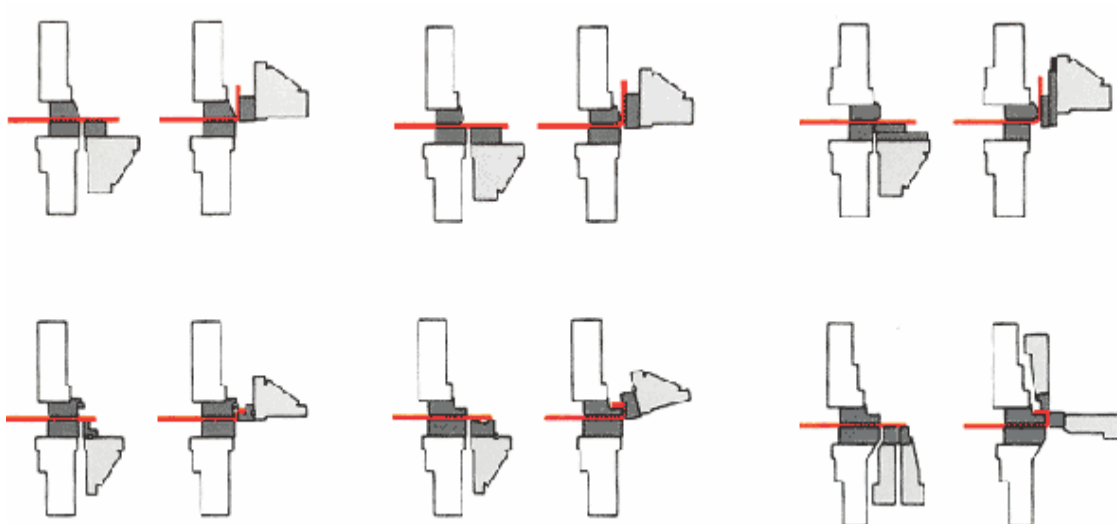
Gbr. 3.10 : Alat bending press hidrolik

Langkah Kerja Bending Press

- Persiapkan alat-alat dan bahan yang diperlukan
- Jepit benda kerja diantara male die dan female die, lalu letakan tepat ditengah-tengah lengan penumbuk
- Putar handel lengan penumbuk sampai menekan male die yang menekan material hingga terbentuk sudut yang diharapkan
- Setelah sudut terbentuk putar handel lengan penumbuk sampai lengan penumbuk terangkat
- Ambil dan letakan benda kerja kemudian ukur sudut yang terbentuk apakah sudah sesuai atau belum
- Ratakan permukaan benda kerja di atas meja perata

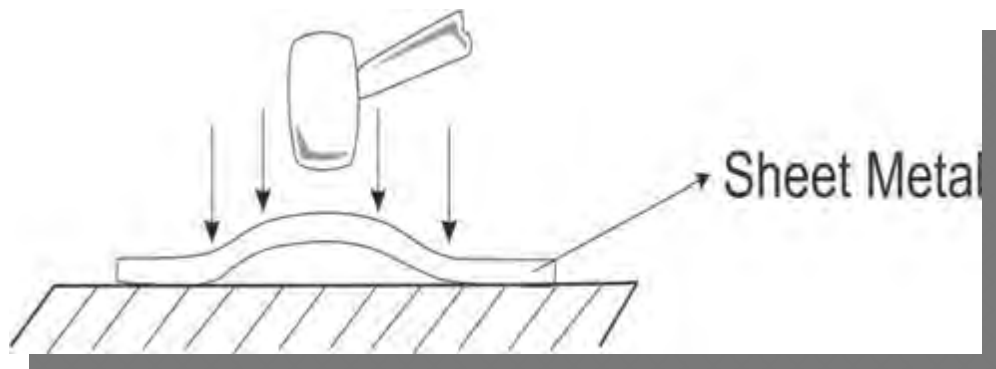
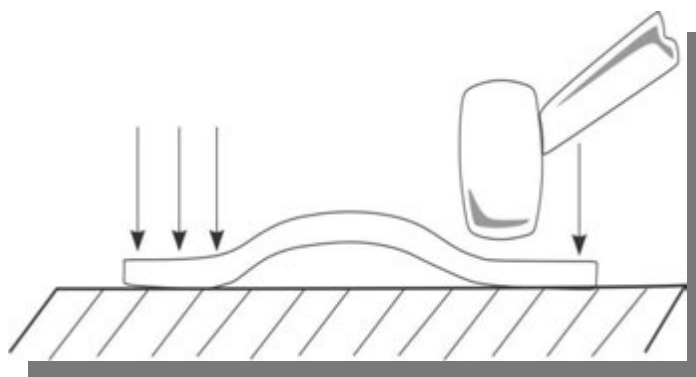
Gbr. 3.11 : Proses bending press

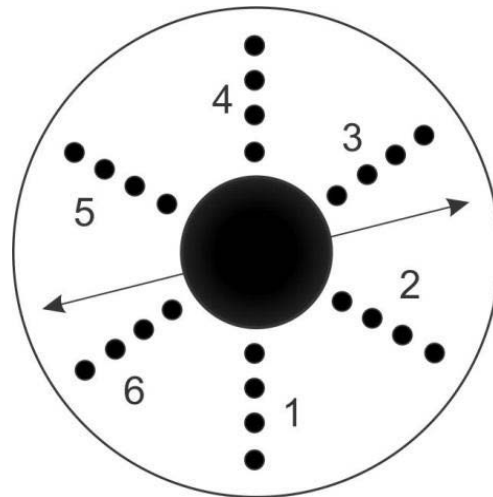
3) Folding Machine

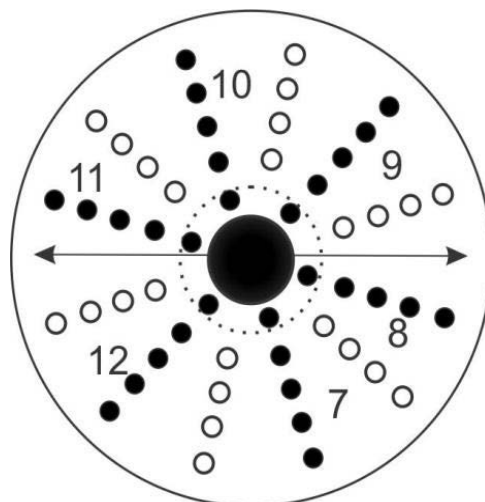
Mesin ini biasanya digunakan untuk melipat sheet metal dengan sudut lipat tertentu. Kelebihan bending dengan mesin ini dapat melipat lebih dari satu lipatan seperti pada (gambar 3.11) di bawah.

Gbr. 3.12 : Proses bending dengan mesin folding

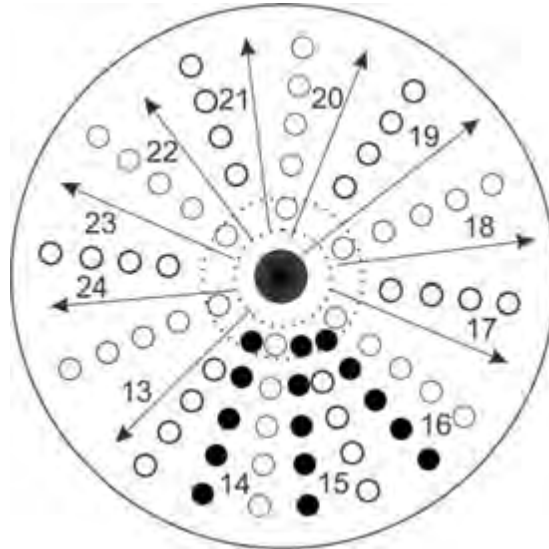
## Proses Straightening

Proses straightening adalah merupakan proses untuk meluruskan/meratakan benda kerja yang telah dibuat dengan cara hand forming (pengkerutan maupun peregangan). Dengan proses straightening ini maka diharapkan benda kerja memiliki kerataan pada permukaan benda kerja tersebut.

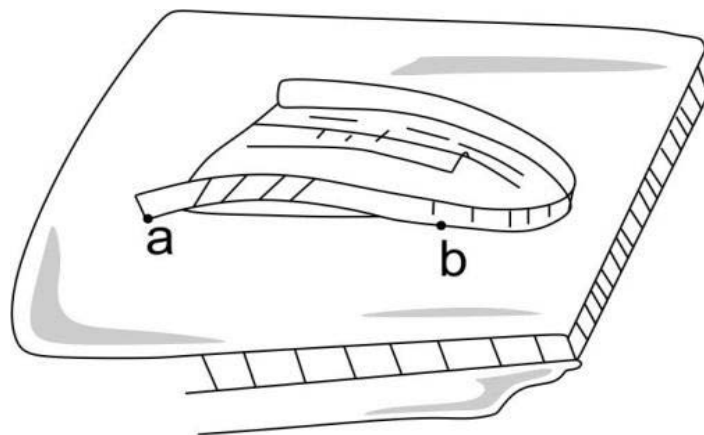
1) Teknik pemukulan/forming untuk menghilangkan bagian yang tidak rata (klik-klok) pada benda kerja lembaran.
    - Letakan benda kerja di atas meja perata dalam posisi tertelungkup (bagian yang menonjol berada di atas,
    - Tidak dianjurkan untuk melakukan pemukulan langsung pada bagian yang menonjol, karena dengan memukul bagian yang menonjol justru akan menyebabkan bagian lain yang sudah rata akan terangkat sehingga kerataan benda kerja tidak tercapai,

Gbr. 3.13 : Cara meratakan yang salah

Gbr. 3.14 : Cara meratakan yang benar

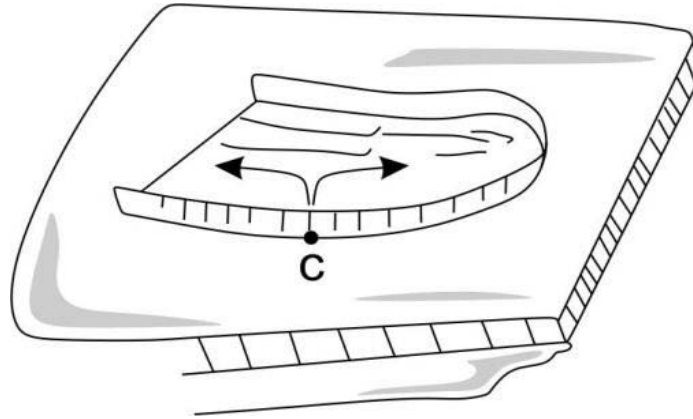
- Dengan menggunakan palu mallet (dianjurkan yang terbuat dari dural) lakukan pemukulan benda kerja dalam ± 3 putarandimulai dari sisi terluar bagian yang menonjol menuju sisi terluar benda kerja,
- Putaran pertama dilakukan dalam 6 baris pukulan, seperti (gbr. 3.15),

Gbr. 3.15 : Putaran pertama perataan

- Putaran kedua bergeser dari baris pertama kali pemukulan, lalu lakukan pemukulan memutar dalam 6 baris berikutnya (gbr. 3.16)

Gbr. 3.16 : Putaran kedua perataan

- Putaran terakhir, jika daerah tonjolan sudah mulai berkurang lakukan putaran terakhir perataan dalam enam baris (gbr. 3.17),

Gbr. 3.17 : Putaran terakhir perataan

- Setelah putaran terakhir selesai, amati benda kerja lakukan pengukuran celah dengan menggunakan alat ukur feller gauge jika masih tampak terlalu lebar atau benda kerja tidak rata semua (klik-klok), maka dianjurkan lakukan perataan seperti tahapan sebelumnya.

2) Teknik pemukulan/forming pada benda kerja berbentuk rib
   - Jika benda kerja melenting, maka lakukan crimping/mengkerutkan pada bagian sisi tegak antara titik a dan b benda kerja tersebut (gbr. 3.18),

Gbr. 3.18 : Benda kerja melenting

- Jika benda kerja melengkung, maka lakukan perpanjangan pada titik/bagian (titik c) yang menyentuh meja perata (gbr. 3.19)

Gbr. 3.19 : Benda kerja melengkung

- Jika sudut siku terlalu ke luar, maka lakukan crimping pada sisi yang keluar,
- Jika sudut siku terlalu ke dalam, maka lakukan perpanjangan pada sisi siku yang terlalu ke dalam.

**c. Rangkuman materi 3**

1) Dalam proses pembentukan secara hand forming ada 4 cara/metode yang umum kita kenal yaitu :
   - Stretching ( meregangkan )
   - Shrinking ( mengerutkan )
   - Bending ( membengkokan )
   - Straightening ( meluruskan/meratakan )

2) Proses stretching adalah proses peregangan pada sheet metal yang bisa dilakukan dengan cara manual (hand forming) maupun dengan bantuan mesin (mechanical forming). Biasanya material yang diregangkan adalah allumunium atau dural karena material ini memilki sifat-sifat yang cocok untuk proses peregangan dan material ini juga banyak dipakai sebagai komponen pesawat udara.

3) Dalam proses stretching alat-alat yang dipakai antara lain peralatan aktif seperti palu (palu peregang dan perata) sedangkan landasan yang dipakai adalah landasan besi permukaan rata. Alat-alat pasif antara lain mal serta alat ukur.

4) Di dalam proses peregangan terdapat kaidah-kaidah yang perlu dicermati oleh setiap orang yang melaksanakan proses peregangan, antara lain :
   - Apabila bagian sisi kanan material sheet metal mengalami deformasi (stretching), maka material tersebut akan membengkok ke arah kiri dengan gaya P.
   - Apabila bagian sisi kiri material sheet metal mengalami deformasi (stretching), maka material tersebut akan membengkok ke arah kanan dengan gaya P.
   - Apabila bagian tengah material sheet metal mengalami deformasi (stretching), maka material tersebut akan bergerak lurus memanjang dengan gaya P.

5) Proses shrinking adalah proses pengkerutan pada material sheet metal biasanya dilakukan dengan cara meng crimping atau membuat gelombang pada bagian sisi benda kerja dengan palu mallet atau dapat pula dengan shrinking machine.

6) Alat-alat yang dipakai pada proses shrinking yaitu :
   - Palu lunak (mallet)
   - Palu perata
   - Landasan disesuaikan dengan bentuk kontur benda kerja
   - Plissoir, alat bantu untuk membentuk gelombang pada sisi material

7) Kaidah yang harus diperhatikan dalam proses pengkerutan benda kerja berbentuk lurus
   - Apabila bagian sisi kanan material sheet metal dicrimping, maka material tersebut akan membengkok ke arah kanan dengan gaya P.

- Apabila bagian sisi kiri material sheet metal dicrimping, maka material tersebut akan membengkok ke arah kiri dengan gaya P.

8) Proses bending/pembengkokan adalah merupakan proses pembengkokan sheet metal material baik dilakukan secara manual maupun dengan bantuan mesin, hingga tercapai sudut bending yang diharapkan.

9) Ada tiga metode untuk melakukan proses bending, diantaranya :

- Proses bending manual
  Proses ini dilakukan dengan peralatan kerja bangku yang sederhana diantaranya ragum sebagai alat penjepit material, palu mallet sebagai alat pemukul atau pembentuk material serta kayu belanit sebagai alas agar permukaan palu tidak bersentuhan langsung dengan permukaan material yang dibending.

- Proses bending press
  Proses bending press biasanya digunakan untuk melipat material lembaran baik allumunium maupun lembaran besi. Pada proses bending ini pembentukan sudut lipatnya menggunakan alat bantu yang disebut dengan male die dan female die. Alat yang dipergunakan untuk proses ini yaitu alat press hidrolik (seperti pada gbr. 3.9)

- Folding Machine
  Mesin ini biasanya digunakan untuk melipat sheet metal dengan sudut lipat tertentu. Kelebihan bending dengan mesin ini dapat melipat lebih dari satu lipatan seperti pada (gambar 3.11).

10) Proses Straightening

Proses straightening adalah merupakan proses untuk meluruskan/meratakan benda kerja yang telah dibuat dengan cara hand forming (pengkerutan maupun peregangan). Dengan proses straightening ini maka diharapkan benda kerja memiliki kerataan pada permukaan benda kerja tersebut.

**d. Tugas Materi 3**

1) Hitung kebutuhan bahan untuk proses pengkerutan benda kerja mangkuk tirus.

**e. Tes Formatif**

1) Jelaskan apa yang dimaksud dengan stretching !
2) Sebutkan dan jelaskan alat-alat yang dipakai pada proses stretching !
3) Sebutkan dan jelaskan 3 kaidah yang harus diperhatikan pada saat pelaksanaan pembentukan dengan stretching !
4) Jelaskan apa yang dimaksud dengan shrinking !
5) Jelaskan apa kegunaan/fungsi plissoir !
6) Jelaskan apa yang dimaksud dengan bending !
7) Jelaskan kelebihan bending dengan mesin press dibandingkan dengan bending secara manual !
8) Uraikan langkah kerja bending dengan mesin press !
9) Jelaskan apa yang dimeksud dengan straightening !
10) Jelaskan cara mengatasi masalah jika benda kerja yang berbentuk rib melenting !

**f. Kunci Jawaban**

1) Stretching (meregangkan) adalah proses peregangan pada sheet metal bias dilakukan dengan cara manual (hand forming) atau dengan bantuan mesin (mechanical forming). Biasanya material yang diregangkan adalah allumunium atau dural karena material ini memilki sifat-sifat yang cocok untuk proses peregangan dan material ini juga banyak dipakai sebagai komponen pesawat udara.

2) Dalam proses stretching alat-alat yang dipakai antara lain peralatan aktif seperti palu (palu peregang dan perata) sedangkan landasan yang dipakai adalah landasan besi permukaan rata. Alat-alat pasif antara lain mal serta alat ukur.

3) Kaidah-kaidah yang perlu dicermati oleh setiap orang yang melaksanakan proses peregangan, antara lain :
   - Apabila bagian sisi kanan material sheet metal mengalami deformasi (stretching), maka material tersebut akan membengkok ke arah kiri dengan gaya P.
   - Apabila bagian sisi kiri material sheet metal mengalami deformasi (stretching), maka material tersebut akan membengkok ke arah kanan dengan gaya P.
   - Apabila bagian tengah material sheet metal mengalami deformasi (stretching), maka material tersebut akan bergerak lurus memanjang dengan gaya P.

4) Proses shrinking adalah proses pengkerutan pada material sheet metal biasanya dilakukan dengan cara meng crimping atau membuat gelombang pada bagian sisi benda kerja dengan palu mallet atau dapat pula dengan shrinking machine.

5) Plissoir adalah : alat bantu pada proses shrinking yang dipergunakan untuk membentuk gelombang pada sisi material

6) Proses bending/pembengkokan adalah merupakan proses pembengkokan sheet metal material baik dilakukan secara manual maupun dengan bantuan mesin, hingga tercapai sudut bending yang diharapkan.

7) Kelebihan bending press dibandingkan dengan bending manual diantaranya :

- Benda kerja yang dihasilkan lebih baik dilihat dari dimensi/ukuran, kerataan dan kehalusan permukaan
- Proses kerja lebih ringan

8) Langkah Kerja Bending Press

- Persiapkan alat-alat dan bahan yang diperlukan
- Jepit benda kerja diantara male die dan female die, lalu letakan tepat ditengah-tengah lengan penumbuk
- Putar handel lengan penumbuk sampai menekan male die yang menekan material hingga terbentuk sudut yang diharapkan
- Setelah sudut terbentuk putar handel lengan penumbuk sampai lengan penumbuk terangkat
- Ambil dan letakan benda kerja kemudian ukur sudut yang terbentuk apakah sudah sesuai atau belum
- Ratakan permukaan benda kerja di atas meja perata

9) Proses straightening adalah merupakan proses untuk meluruskan/meratakan benda kerja yang telah dibuat dengan cara hand forming (pengkerutan maupun peregangan). Dengan proses straightening ini maka diharapkan benda kerja memiliki kerataan pada permukaan benda kerja tersebut.

10) Jika benda kerja melenting, maka lakukan crimping/mengkerutkan pada bagian sisi tegak benda kerja tersebut tersebut

**g. Lembar Kerja**

1) Pembentukan Mangkuk Tirus Dengan Proses Pengkerutan (shrinking)

- Dimensi/ukuran benda yang diharapkan

  Diameter alas = 90 mm
  Diameter atas = 130 mm
  Tinggi = 50 mm

- Bahan = Allumunium dengan tebal 1.2 mm

- Langkah Kerja
  - Menghitung kebutuhan material secara matematik sesuai dengan rumus yang telah dipelajari pada materi penghitungan kebutuhan bahan.
  - Menghitung bentangan secara grafis.
  - Melukis gambar bentangan di atas material yang sudah disiapkan.
  - Memotong material sesuai dengan lukisan bentangan dengan gunting tuas.
  - Menghaluskan sisi bekas pemotongan untuk mencegah crack.
  - Lakukan proses pembentukan awal pada landasan kayu cekung dengan menggunakan palu bola kayu.
  - Setelah itu lanjutkan dengan proses pengkerutan di atas landasan silinder rata dengan menggunakan palu mallet, dimulai dari garis batas radius.
  - Lakukan pengerutan secara bertahap dari batas radius sampai pada sisi bentangan secara kantinyu.
  - Jika perlu lakukan lekukan sisi benda dengan bantuan plissoir.
  - Proses pengkerutan dengan palu mallet dikatakan selesai jika sisi miring benda kerja melebihi sudut kemiringan mal.
  - Ratakan permukaan benda kerja masih menggunakan palu plastik/kayu untuk menghilangkan bagian-bagian yang tidak rata.
  - Lanjutkan dengan proses finishing menggunakan palu perata sampai semua bekas pengerutan pada permukaan benda kerja rata.
  - Periksa bentuk benda kerja dengan mal.
  - Ukur ketinggian benda kerja dengan menggunakan alat ukur high gauge, lalu garis sesuia dengan ketinggian yang diinginkan selanjutnya potong tepat pada garis tersebut menggunakan gunting tangan.
  - Ratakan sisi bekas gunting dengan menggunakan kikir plat halus.

**a. Tujuan Kegiatan Belajar 4**

Setelah mempelajari kegiatan belajar 4 ini diharapkan siswa dapat :

1) Mengetahui macam-macam alat pembentukan mekanik,
2) Memahami prinsip dan cara kerja alat-alat pembentuk mekanik,
3) Mengetahui part-part yang dapat dibentuk dengan alat pembentuk mekanik,
4) Mengoperasikan alat-alat pembentuk mekanik sesuai dengan prosedur kerja yang benar,
5) Membuat satu atau lebih part yang dikerjakan dengan alat pembentuk mekanik.

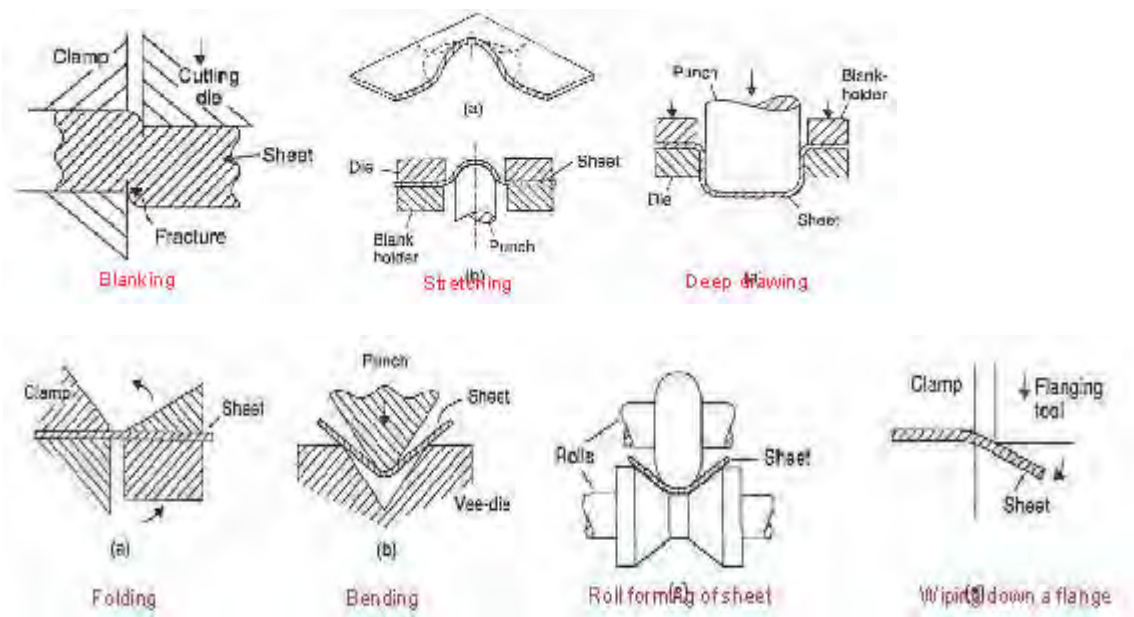
**b. Uraian Materi**

Mechanical forming adalah proses pembentukan part yang terbuat dari lembaran plat, pipa, dan bentuk profil yang proses pengerjaannya menggunakan mesin. Mesin-mesin yang dipergunakan dalam proses ini dilihat dari penggeraknya dapat dibedakan menjadi dua kelompok yaitu :

5. Mesin yang digerakan secara manual (tenaga manusia)
6. Mesin yang digerakan secara hidrolik dengan tenaga listrik

Jika dilihat dari prosesnya maka mesin sheet metal forming terdiri dari :

7. Mesin press
8. Mesin Roll plat dan pipa
9. Mesin bending
10. Mesin peregang
11. Mesin Pengkerutan

Gbr. Contoh part-part hasil pembentukan dengan mesin

Gbr. Macam-macam proses pembentukan dengan mesin

1) **Mesin Press**

Mesin press dalam proses pembentukan sheet metal forming sangat diperlukan karena sebagian besar proses pembentukan part-part pesawat udara dilakukan dengan cara di press.

Mesin press dapat melaksanakan macam-macam proses sheet metal diantaranya membentuk, mencetak, melubangi dan memotong. Mesin press ada yang dioperasikan secara manual dan ada juga yang digerakan secara hidrolik atau dengan tenaga listrik. Kekuatan tekanan yang dapat dilakukan oleh mesin ini beragam tergantung pada kapasitas tekanan mesin yang dapat dikerjakan.

Gbr. 4.1 : Mesin press manual

Gbr. 4.2 : Mesin press hidrolik

Gbr. 4.3 : Mesin press hidrolik

Jenis – jenis pekerjaan yang dapat dikerjakan oleh mesin press antara lain

1. Membuat Joggling
   Joggling adalah dua tekukan yang paralel pada sudut yang sama umumnya sudut joggle kurang dari $45^0$ dan mempunyai fungsi untuk menyembungkan part/komponen dengan part yang lain agar keadaan permukaan tetap rata

Dalam proses pembuatan joggling dapat dilakukan dengan dua kondisi yaitu :

- Pada kondisi dingin (Cold Joggling)

  Material yang dibentuk joggle dalam keadaan material tidak dipanaskan tetapi material diproses dengan cold treatment dan tidak dilakuan heat treatment, tergantung dengan kedalaman joggle dan tipe materialnya

- Pada kondisi panas

  Pada kondisi panas keadaan materialnya tidak dalam keadaan normal, tetapi mengalami pemanasan ada daerah yang akan di joggle melalui pemanasan tool/die mempergunakan elemen-elemen yang dimasukan pada celah-celah yang terdapat pad tool. Temperatur yang umum digunakan pada proses ini antara $120^0$ F sampai $380^0$ F. Alat untuk mengontrol temperaturnya disebut thermostat. Material yang dipakai pada pembentukan hot joggle hanya material 7075 T6. Setelah pembuatan hot joggle akan mengalami operasi artificial aging yaitu mengembalikan struktur material (daerah yang dijoggle) ke kondisi semula.

  Berikut ini dijelaskan proses kerja pembuatan joggle secara sederhana

  Proses pembentukan cup

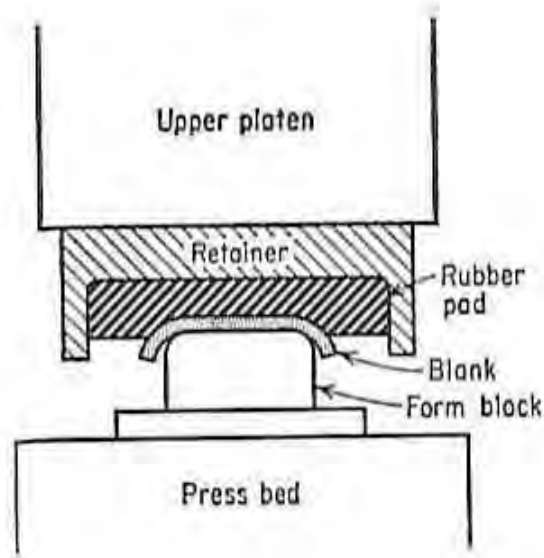
  - Pasang stamping Joggle pada mesin press
  - Atur/stel stoper tekanan tumbuk
  - Letakan material pada stamping
  - Nyalakan/operasikan mesin
  - Terakhir lepas material dari stamping dan kontrol dengan menggunakan alat filler gauge.

  Proses membuat penguat pada sisi lubang

  - Pilih dimpling sesuai dengan diameter lubang
  - Masukan dimpling kedalam lubang
  - Masukan pasangan dimpling
  - Tekan dmpling dan pasangannya dengan mesin press

2. Membuat Lengkungan (Contour)

   Part yang tidak dapat dikerjakan secara manual biasanya menggunakan swadge atau mesin roll untuk membentuk lengkungan/contour seperti membuat skin outer pesawat udara.

3. Membuat part menggunakan tools stamping/dice
   Suatu proses pencetakan menggunakan tools stamping dice (matres) dengan berbagai bentuk seperti cup, rib, grove dll.

Gbr. 4.4 : Proses pembuatan part dengan mesin press

Gbr. 4.5 : Contoh part hasil press

- Langkah kerja proses pembuatan sebuah cup
  12. Memasang stamping pada mesin
  13. Mengatur/menyetel stopper tekanan tumbuk
  14. Meletakan material pada stamping
  15. Menyalakan mesin
  16. Material dilepaskan dari stamping dan dikontrol

- Langkah kerja proses pembuatan penguat pada sisi lubang

17. Tentukan dimpling sesuai dengan diameter lubang
18. Masukan dimpling ke dalam lubang
19. Masukan pasangan dimpling
20. Tekan dengan mesin press

**1) Mesin Nibling**

Mesin ini digerakan oleh motor listrik dengan gerakan turun naik dengan kecepatan tinggi. Mesin nibling dapat berfungsi sebagai :

- Pemotong sheet
- Membentuk kurva
- Membentuk joggle
- Melakukan peregangan material

Mesin ini pisaunya dapat diganti-ganti dan dapat diatur posisi turun naiknya. Mesin ini mempunyai kemampuan memotong material alumunium/duralium sampai ketebalan 4 mm dan untuk stainless steel sampai 3 mm

Proses pembuatan alur pada material yang berbentuk lingkaran

- ➢ Peralatan yang digunakan

21. Tols pembentuk alur sesuai dengn ukuran yang diinginkan
22. Kunci L
23. Mistar baja
24. Mistar sorong (vernier caliper)
25. Mal

- ➢ Persiapan kerja

26. Memeriksa Kondisi mesin
27. Menyiapkan peralatan keselamatan kerja
28. Menyiapkan material
29. Menyiapkan peralatan pendukung
30. Menyiapkan mesin

- ➢ Langkah kerja

31. Pasang tools dengan kuat dan tepat pada dudukan/rumahnya,
32. Atur jarak titik pusat sesuai dengan ukuran pada gambar kerja,
33. Atur jarak antara tools negatif dengan tools positifnya sesuai dengan dalam alur yang diinginkan
34. Pasang material yang sudah disiapkan ada titik pusat mesin,
35. Nyalakanoperasikan mesin dengan melakukan pembentukan tahap demi tahap.

**1) Mesin Folding**

Mesin ini berfungsi untuk melakukan proses sheet metal dengan cara menekuk atau membengkokan material lembaran duralium atau steel yang mempunyai radius kecil dibawah 10 mm.

Mesin folding terdiri dari :

1. Mesin Bending Manual

   Mesin bending manual hanya dipakai untuk material yang tipis dan lebarnya juga terbatas yaitu maksimal 120 mm

Gbr. 4.6 : Mesin Bending Manual

2. Mesin Folding Hidrolik dan Listrik

   Mesin folding jenis ini digerakan secara hidrolik dengan penggeraknya mempergunakan motor listrik. Mesin ini dapat menekuk material sampai ketebalan 8 mm dengan lebar ukuran dari 1200 mm sampai 5500 mm dan panjang tidak terbatas.

   Mesin ini dilengkapi dengan peralatan pendukung antara lain :

   - Pisau

     Pisau ini digunakan untuk menekan material dengan radius yang bermacam-macam ukurannya yaitu dari radius 1 mm – 10 mm.
   - V Blok

     V blok mempunyai berbagai ukuran dan bentuk.
   - Stopper

     Fungsinya untuk mengatur jarak bending

Gbr. 4.7 : Mesin Bending listrik

**2) Mesin Pembengkok Pipa ( Tube Bending )**

Pembengkokan pipa adalah suatu proses pembentukan part-part pesawat udara, dimana materialnya berbentuk pipa/tube yang umumnya terbuat dari duralium maupun dari steel/stainless steel dengan diameter bervariasi. Jenis-jenis pekerjaan bending yang dapat dikerjakan antara lain :

- Hydraulic system
- Fuel system
- Oxygen system
- Fire protection system
- Support

Untuk membengkokan pipa/tube dapat menggunakan mesin mekanik yang digerakan oleh motor listrik atau hidrolik atau dapat pula menggunakan mesin manual.

Di bawah ini terdapat gambar-gambar macam-macam mesin pembengkok pipa yang sering dipergunakan dalam proses sheet metal forming.

Gbr. 4. 8 :  Gbr. Pembengkok pipa manual

Gbr. 4. 9 : Satu set alat pembengkok pipa manual

Beberapa hal yang dapat menyebabkan terjadinya patah/retak adalah :

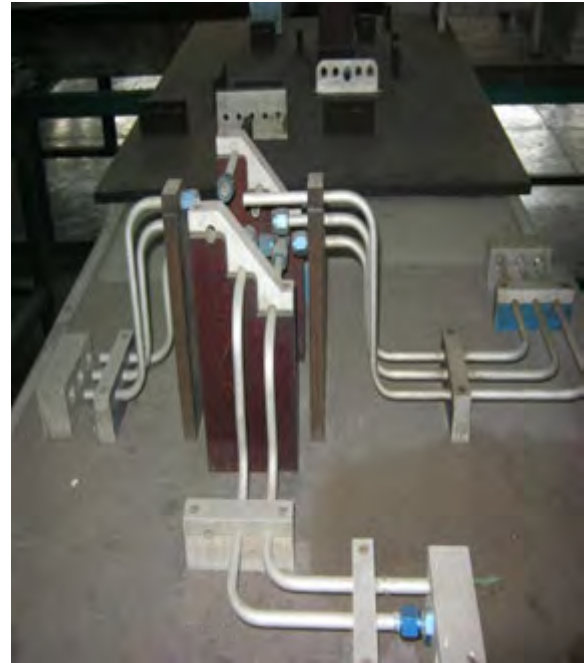
36. Tekanan sliding terhadap pipa terlalu kuat

37. Posisi mandril terlalu maju
38. Pelumasan kurang
39. Radius bending terlalu kecil tidak sesuai dengan diameter pipa

Beberapa hal yang dapat menyebabkan terjadinya keriput (wrinkle) adalah :

40. Terdapat perbedaan antara diameter mandril dan diameter pipa
41. Sliding kurang menekan
42. Posisi mandril terlalu ke belakang
43. Wiper die kurang menekan

Untuk membengkokan pipa dengan diameter kecil dapat dilakukan dengan cara manual. Alat ini hanya digunakan untuk diameter pipa yang sesuai dengan rolnya (Gbr. 4. 10)

Gbr. 4. 10 : Alat pembengkok pipa alumunium

Gbr. 4. 11 : Hasil pembengkokan pipa alumunium

Untuk pembengkokan pipa dengan diameter yang lebih besar dapat dilakukan secara manual menggunakan pembengkok pipa hidrolik seperti pada gambar 4.12. Alat ini hanya dipergunakan untuk pipa yang radius bendingnya besar dan hasilnya tidak bias sempurna, karena terdapat bekas tekukan atau kerutan pada sisi luar pipa. Cara kerja mesin hdrolik ini dilakukan secara bertahap dengan perlahan-lahan dan dikontrol menggunakan mal radius.

Gbr. 4. 12 : Proses pembengkokan pipa secara hidrolik

**1) Pembentukan dengan Mesin rol**

a. Mesin rol pipa

Untuk membentuk lingkaran sebuah pipa dapat dilakukan dengan menggunakan mesin rol universal ( Gbr. 4.13). Mesin rol ini terdiri dari tiga rol, yaitu satu rol pembentuk dan dua rol pengarah. Mesin ini digunakan untuk membentuk lingkaran yang besar dengan material yang memilki diameter kecil dan ketebalan pipa sampai 1,5 mm.

Gbr. 4.13 : Mesin rol pipa universal

b. Mesin rol material lembaran/sheet

Mesin ini memproses lembaran-lembaran metal dengan cara di rol, dalam dunia penerbangan lembaran-lembaran yang dirol biasanya adalah yang berbahan duralium, steel, stainless steel dan plat baja. Mesin rol yang dipakai dilihat dari penggeraknya ada yang digerakan oleh tenaga listrik dan ada pula yang digerakan secara manual. Mesin rol manual digerakan dengan cara memutar handel pemutar sampai radius yang diinginkan tercapai. Mesin rol manual digunakan untuk mengerol lembaran-lembaran plat dengan ketebalan maksimal 2 mm dan lebar 120 mm.

Bagian-bagian utama mesin rol manual yaitu :

44. Handel pemutar :

    Berfungsi untuk menggerakan lembaran plat maju mundur selama proses pengerolan dan digerakan secara manual

45. Rol pembentuk :

    Rol ini dapat bergerak naik turun dan membentuk radius material sesuai dengan keinginan

46. Rol pengarah :

    Rol ini berfungsi untuk menggerakan lembaran plat yang dibentuk

47. Rol penekan :

    Rol ini dapat bergerak naik turun untuk menjepit material

48. Handel pengatur rol pembentuk :

    Handel ini berfungsi untuk menggerakan rol pembentuk sampai radius rol yang diinginkan

49. Baut pengatur celah penekan

Baut ini berfungsi untuk mengatur celah sesuai dengan tebal plat yang akan dirol.

Gbr. 4.14 : Mesin rol sheet manual

Gbr. 4.15 : Mesin rol plat strip

Gbr. 4.16 : Mesin rol bentuk profile

1) **Mesin Swaging**

Mesin ini berfungsi untuk membentuk profil penguat pada permukaan lembaran metal maupun pada material yang berbentuk radius atau silinder. Mesin ini disebut juga multi rol machine dengan perlengkapan rol berbagai bentuk. Mesin ini dapat dipergunakan untuk berbagai macam proses diantaranya :

a. Proses pembentukan alur penguat (stiffening swaging)
b. Proses pembentukan tekukan pada sisi material (blank edge flanging)
c. Proses pembentukan bagian yang disambungkan (jogling)
d. Proses pembentukan tekukan di sisi pipa/silinder (tube edge flanging)

Gbr. 4.17 : Mesin swaging yang digerakan motor

Gbr. 4.18 : Mesin swaging yang digerakan secara manual

Komponen-komponen mesin swaging yang digerakan oleh motor listrik umumnya terdiri dari :

50. Handel penekan, berfungsi untuk menggerakan rol atas naik atau turun.
51. Motor listrik, berfungsi untuk memutarkan rol dengan kecepatan putar konstan.
52. Sepasang rol terdiri dari rol atas yang dapat bergerak naik turun dan rol bawah yang dapat digerakan maju mundur.
53. Pembatas/stopper, berfungsi untuk membatasi material agar selama proses pengerolan jarak rol terhadap tepi benda kerja sama.
54. Tuas pengatur rol, berfungsi untuk mengatur jarak rol bawah terhadap stopper.

55. Pedal, berfungsi untuk menyambungkan dan memutuskan arus listrik ke motor sehingga motor dapat memutarkan rol. Pedal ini ada dua dalam satu rumah pedal dimana jika pedal kanan ditekan maka benda kerja akan berputar ke arah kanan begitu pula sebaliknya jika pedal kiri yang ditekan maka benda kerja akan berputar kea rah kiri

Langkah kerja mesin swaging yang digerakan oleh motor listrik

56. Pasang mulut rol sesuai dengan jenis pekerjaan yang akan dilakukan,
57. Atur jarak pembatas sesuai dengan yang diinginkan,
58. Renggangkan jarak antara rol,
59. Tempatkan posisi benda kerja dan rapatkan terhadap stopper,
60. Putar handel penekan rol atas sampai material yang akan dikerjakan tertekan,
61. Hidupkan power dan tekan pedal sebelah kanan atau pedal kiri tergantung selera,
62. Lakukan berkali-kali dengan mangatur handel penekan secara perlahan-lahan sampai selesai.

Pada umumnya mesin swaging manual memilki komponen yang hampir sama, hanya terdapat perbedaan yaitu pada mesin swaging manual tidak terdapat motor listrik sebagai penggeraknya dan peran ini digantikan oleh tenaga manusia. Disamping itu pada mesin manual tidak terdapat pedal.

Pada saat proses pengerjaan dengan mesin rol baik manual maupun listrik harap diperhatikan faktor-faktor yang berkaitan dengan keselamatan kerja agar tidak terjadi kecelakaan yang dapat merugikan si pengguna/operator.

**1) Mesin Eckold**

Mesin ini berfungsi untuk mengerutkan dan meregangkan material berbagai bentuk profil. Mesin ini dilengkapi dengan tools yang dapat diganti-ganti sesuai keperluan. Jenis toolnya berbagai bentuk seperti bentuk telapak kuda, silinder dan elip. Bahan sepatunya ada yang terbuat dari baja umumnya sepatu jenis ini dipakai untuk material yang keras dan pekerjaan yang permukaannya tidak perlu halus. Jenis lainnya terbuat dari fiberglass dugunakan untuk material yang lunak seperti allumunium/dural.

Langkah kerja pengkerutan material siku dengan mesin eckold former seperti tersebut di bawah :

a. Siapkan perlengkapan mesin eckold former,
b. Siapkan materialnya,
c. Masukan material pada mulut tools pada bagian sisi yang akan dikerutkan atau diregangkan,
d. Gerakan handel hingga mulut tolls bergerak naik turun untuk mengerutkan atau meregangkan material hingga terbentuk radius yang diinginkan.
e. Lakukan proses pengkerutan/peregangan secara bertahap.

Gbr. 4.19 : Proses pengkerutan material siku dengan mesin eckold

**b. Rangkuman materi 4**

1) Mechanical forming adalah proses pembentukan part yang terbuat dari lembaran plat, pipa, dan bentuk profil yang proses pengerjaannya menggunakan mesin.
2) Mesin-mesin yang dipergunakan dalam proses ini dilihat dari penggeraknya dapat dibedakan menjadi dua kelompok yaitu :

63. Mesin yang digerakan secara manual (tenaga manusia)
64. Mesin yang digerakan secara hidrolik dengan tenaga listrik

1) Jika dilihat dari prosesnya maka mesin sheet metal forming terdiri dari :

65. Mesin press
66. Mesin Roll plat dan pipa
67. Mesin bending
68. Mesin peregang dan pengkerut

1) Mesin press dapat melaksanakan macam-macam proses sheet metal diantaranya membentuk, mencetak, melubangi dan memotong. Mesin press ada yang dioperasikan secara manual dan ada juga yang digerakan secara hidrolik atau dengan tenaga listrik. Kekuatan tekanan yang dapat dilakukan oleh mesin ini beragam tergantung pada kapasitas tekanan mesin yang dapat dikerjakan.

2) Jenis – jenis pekerjaan yang dapat dikerjakan oleh mesin press antara lain

69. Membuat Joggling

    Joggling adalah dua tekukan yang paralel pada sudut yang sama umumnya sudut joggle kurang dari $45^0$ dan mempunyai fungsi untuk menyembungkan part/komponen dengan part yang lain agar keadaan permukaan tetap rata.

70. Membuat Lengkungan (Contour)

    Part yang tidak dapat dikerjakan secara manual biasanya menggunakan swadge atau mesin roll untuk membentuk lengkungan/contour seperti membuat skin outer pesawat udara.

71. Membuat part menggunakan tools stamping/dice

    Suatu proses pencetakan menggunakan tools stamping dice (matres) dengan berbagai bentuk seperti cup, rib, grove dll.

1) Mesin Nibling

   Mesin ini digerakan oleh motor listrik dengan gerakan turun naik dengan kecepatan tinggi. Mesin nibling dapat berfungsi sebagai :

   - Pemotong sheet
   - Membentuk kurva
   - Membentuk joggle
   - Melakukan peregangan material

Mesin ini pisaunya dapat diganti-ganti dan dapat diatur posisi turun naiknya. Mesin ini mempunyai kemampuan memotong material alumunium/duralium sampai ketebalan 4 mm dan untuk stainless steel sampai 3 mm

2) Mesin Folding
Mesin ini berfungsi untuk melakukan proses sheet metal dengan cara menekuk atau membengkokan material lembaran duralium atau steel yang mempunyai radius kecil dibawah 10 mm.
Mesin folding terdiri dari :
   a. Mesin Bending Manual
      Mesin bending manual hanya dipakai untuk material yang tipis dan lebarnya juga terbatas yaitu maksimal 120 mm
   b. Mesin Folding Hidrolik dan Listrik
      Mesin folding jenis ini digerakan secara hidrolik dengan penggeraknya mempergunakan motor listrik. Mesin ini dapat menekuk material sampai ketebalan 8 mm dengan lebar ukuran dari 1200 mm sampai 5500 mm dan panjang tidak terbatas.

3) Pembengkokan pipa adalah suatu proses pembentukan part-part pesawat udara, dimana materialnya berbentuk pipa/tube yang umumnya terbuat dari duralium maupun dari steel/stainless steel dengan diameter bervariasi. Jenis-jenis pekerjaan bending yang dapat dikerjakan antara lain :
   - Hydraulic system
   - Fuel system
   - Oxygen system
   - Fire protection system
   - Support

4) Beberapa hal yang dapat menyebabkan terjadinya patah/retak adalah :
   72. Tekanan sliding terhadap pipa terlalu kuat
   73. Posisi mandril terlalu maju
   74. Pelumasan kurang
   75. Radius bending terlalu kecil tidak sesuai dengan diameter pipa

1) Beberapa hal yang dapat menyebabkan terjadinya keriput (wrinkle) adalah :
   76. Terdapat perbedaan antara diameter mandril dan diameter pipa
   77. Sliding kurang menekan
   78. Posisi mandril terlalu ke belakang
   79. Wiper die kurang menekan

1) Mesin rol pipa

Untuk membentuk lingkaran sebuah pipa dapat dilakukan dengan menggunakan mesin rol universal ( Gbr. 4.13). Mesin rol ini terdiri dari tiga rol, yaitu satu rol pembentuk dan dua rol pengarah. Mesin ini digunakan untuk membentuk

lingkaran yang besar dengan material yang memilki diameter kecil dan ketebalan pipa sampai 1,5 mm.

2) Mesin rol material lembaran/sheet
Mesin ini memproses lembaran-lembaran metal dengan cara di rol, dalam dunia penerbangan lembaran-lembaran yang dirol biasanya adalah yang berbahan duralium, steel, stainless steel dan plat baja. Mesin rol yang dipakai dilihat dari penggeraknya ada yang digerakan oleh tenaga listrik dan ada pula yang digerakan secara manual. Mesin rol manual digerakan dengan cara memutar handel pemutar sampai radius yang diinginkan tercapai. Mesin rol manual digunakan untuk mengerol lembaran-lembaran plat dengan ketebalan maksimal 2 mm dan lebar 120 mm.

3) Bagian-bagian utama mesin rol manual yaitu :
80. Handel pemutar
81. Rol pembentuk
82. Rol pengarah
83. Rol penekan
84. Handel pengatur rol pembentuk
85. Baut pengatur celah penekan

1) Mesin Swaging
Mesin ini berfungsi untuk membentuk profil penguat pada permukaan lembaran metal maupun pada material yang berbentuk radius atau silinder. Mesin ini disebut juga multi rol machine dengan perlengkapan rol berbagai bentuk. Mesin ini dapat dipergunakan untuk berbagai macam proses diantaranya :
86. Proses pembentukan alur penguat (stiffening swaging)
87. Proses pembentukan tekukan pada sisi material (blank edge flanging)
88. Proses pembentukan bagian yang disambungkan (jogling)
89. Proses pembentukan tekukan di sisi pipa/silinder (tube edge flanging)

1) Komponen-komponen mesin swaging yang digerakan oleh motor listrik umumnya terdiri dari :
90. Handel penekan, berfungsi untuk menggerakan rol atas naik atau turun.
91. Motor listrik, berfungsi untuk memutarkan rol dengan kecepatan putar konstan.
92. Sepasang rol terdiri dari rol atas yang dapat bergerak naik turun dan rol bawah yang dapat digerakan maju mundur.
93. Pembatas/stopper, berfungsi untuk membatasi material agar selama proses pengerolan jarak rol terhadap tepi benda kerja sama.
94. Tuas pengatur rol, berfungsi untuk mengatur jarak rol bawah terhadap stopper.

Diunduh dari BSE.Mahoni.com

95. Pedal, berfungsi untuk menyambungkan dan memutuskan arus listrik ke motor sehingga motor dapat memutarkan rol. Pedal ini ada dua dalam satu rumah pedal dimana jika pedal kanan ditekan maka benda kerja akan berputar ke arah kanan begitu pula sebaliknya jika pedal kiri yang ditekan maka benda kerja akan berputar kea rah kiri

1) Mesin Eckold Former
Mesin ini berfungsi untuk mengerutkan dan meregangkan material berbagai bentuk profil. Mesin ini dilengkapi dengan tools yang dapat diganti-ganti sesuai keperluan. Jenis toolnya berbagai bentuk seperti bentuk telapak kuda, silinder dan elip. Bahan sepatunya ada yang terbuat dari baja umumnya sepatu jenis ini dipakai untuk material yang keras dan pekerjaan yang permukaannya tidak perlu halus. Jenis lainnya terbuat dari fiberglass dugunakan untuk material yang lunak seperti allumunium/dural.

**b. Tugas 4**

1) Lakukan proses pengkerutan dengan menggunakan mesin eckold former pada material allumunium 2027 T4 dengan ukuran 500 x 50 x 0,8 mm. Sebelum melaksanakan pengkerutan material tersebut dibentuk siku terlebih dahulu dengan menggunakan mesin bending manual.

2) Buat sebuah benda kerja berbentuk silinder dengan proses hand forming lalu dengan menggunakan mesin rol bertenaga listrik buat dua buah alur dengan lebar alur 10 mm. Ukuran akhir silinder tersebut adalah tinggi 60 mm, diameter silinder 90 mm, jarak penguat/alur 1 dari sisi atas 15 mm dan jarak penguat/alur 2 dari sisi atas 40 mm. Sebelum melaksanakan proses kerja hitung terlebih dahulu kebutuhan bahannya.

**c. Tes Formatif 4**

1) Jelaskan yang dimaksud dengan mechanical forming process !

2) Uraikan langkah kerja pembentukan cup dengan menggunakan mesin press manual